



SEMILLERO GEIMA



COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

Carlos Mario Echeverri Cartagena, docente

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

Carlos Arturo Rodríguez Arroyave, docente

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

Isabel Cristina Ramirez González, estudiante

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

Ana María Escobar López, estudiante

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

Santiago Aguirre Martínez, estudiante

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

María Fernanda Palacio, estudiante

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

Andrés Felipe Sepúlveda, estudiante

Departamento de ingeniería de producción
Universidad EAFIT
Medellín, Antioquia

CONTENIDO

Semillero GEIMA

- *¿Qué es GEIMA?*
- *¿Qué hace GEIMA?*
- *¿Cómo lo hace?*
- *Compromisos*
- *Competencias*
- *Capacitaciones a nivel interno*

Fundadores del semillero

- *Carlos Arturo Rodríguez Arroyave*
- *Carlos Mario Echeverri Cartagena*

Proyectos de investigación en ingeniería

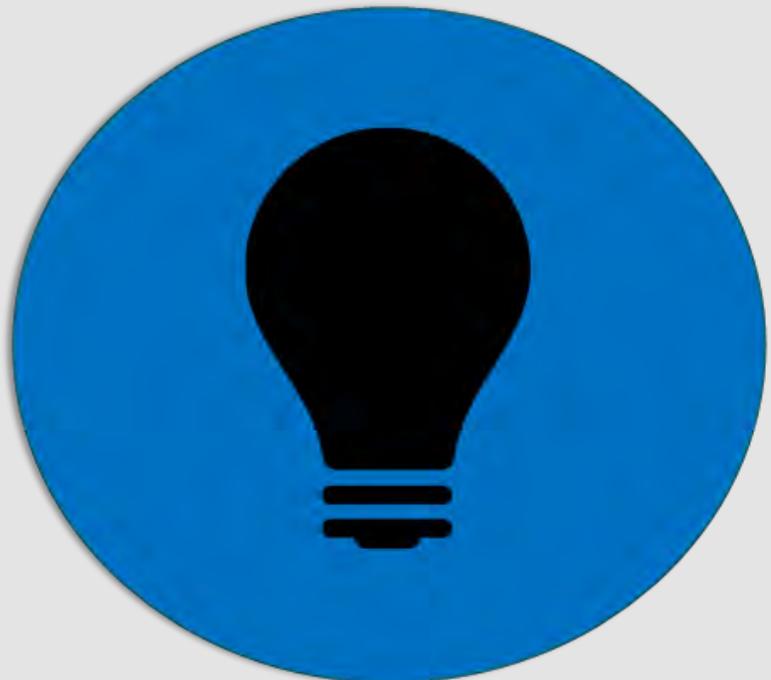
- *Desarrollo de tecnologías para fabricación de productos de madera con enfoque de BPM/PLM*
- *Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alcanzar la certificación GLOBAL G.A.P para pequeños agricultores de aguacate hass en el retiro Antioquia*
- *Aplicación de herramientas lean farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño*
- *Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura*
- *Diseño y fabricación de aerogeneradores en proyectos académicos de ingeniería de producción bajo el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI)*
- *Implementación de metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM)*
- *aplicación del marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI) asignaturas de proyectos de máquinas y equipos.*
- *Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM: caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad*
- *Diseño de una línea de productos para niños discapacitados y su producción con técnicas de manufactura avanzada*

Participación en eventos y proyectos

- *Año 2018*
- *Año 2017*
- *Año 2016*
- *Año 2015*
- *Año 2014*
- *Año 2013*

Integrantes del semillero GEIMA

SEMILLERO: GRUPO DE ESTUDIO DE INTERÉS EN MANUFACTURA AVANZADA (GEIMA)



¿QUE ES GEIMA?

El Grupo de Estudio en Interés de Manufactura Avanzada es un semillero de investigación creado en el año 2000 por los profesores Carlos Mario Echeverri Cartagena y Carlos Arturo Rodríguez Arroyave, siendo así, el primer semillero de la Universidad EAFIT en el área de manufactura. Este semillero se dedica a la búsqueda de proyectos que se relacionen con temas de dicha área, además de la exploración de distintas maneras de aplicar los conocimientos a diferentes campos de la industria. Por otra parte, brinda la oportunidad de obtener múltiples competencias, no sólo en el área de manufactura, sino también en otras áreas; creando así estudiantes polivalentes que saldrán al campo laboral con un repertorio de habilidades excepcionales, que lo harán diferenciarse entre los demás.

GEIMA hace parte de la Red Colombiana de Semilleros de Investigación (RedColsi) y ha participado en muchos encuentros, en la categoría de ponente, como por ejemplo en el XII Encuentro regional de semilleros de investigación en mayo del 2013, XVI Encuentro nacional y X internacional de semilleros de investigación en octubre de 2013, VII Encuentro nacional de semilleros de investigación en el 2014, XIV Encuentro departamental de semilleros de investigación en el 2015, entre otros.

Los integrantes de GEIMA, son a su vez, los monitores para la materia Proyecto de elementos de máquinas y equipos. Cada uno de ellos, aporta su conocimiento para la realización total del proyecto semestre a semestre que consiste en el diseño y construcción por equipos de una máquina, el cual se rige a través de la utilización de la metodología PMI.



¿QUE HACE GEIMA?

En la actualidad el grupo se encarga de la capacitación de sus miembros, la investigación y realización de desarrollos asociados a los temas de:



¿CÓMO LO HACE?

En Geima, se busca complementar todos los proyectos con diferentes metodologías y herramientas de producción, las cuales permiten obtener mejores resultados en el alcance de los objetivos planteados



COMPROMISOS

Con el fin de establecer los objetivos a cumplir dentro del semillero GEIMA, se estableció un recuadro de compromisos año tras año, para motivar a los integrantes a continuar con sus labores.

		2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
ARTICULOS PUBLICADOS	DEPARTAMENTAL	-	-	-	-	-	-	-
	NACIONAL	-	-	-	1	-	-	1
	INTERNACIONAL	-	-	-	4	-	1	5
PONENCIAS PRESENTADAS	DEPARTAMENTAL	1	1	1	1	1	1	6
	NACIONAL	1	-	-	1	-	1	3
	INTERNACIONAL	-	-	-	2	-	1	3
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS		1	1	1	5	1	2	11

COMPETENCIAS

En el semillero GEIMA se tienen establecidas competencias que sus integrantes deben poner en práctica, las cuales son evaluadas con todos los integrantes para descubrir que competencias se deben fortalecer para continuar con el proceso.

	PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO					
	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas						
Capacidad de investigación						
Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas						
Habilidades en el uso de las TIC'S y la comunicación						
Habilidades para escribir proyectos de investigación y artículos con nivel internacional						
Capacidad crítica y autocrítica						
Capacidad de comunicación oral y escrita						
Responsabilidad social y compromiso ciudadano						
Capacidad para formular y gestionar proyectos con metodologías de investigación						
Capacidad de trabajo en equipo						

CAPACITACIONES A NIVEL INTERNO

Con el fin de formar estudiantes polivalentes, que puedan desempeñarse en la investigación o en la industria adecuadamente, el semillero GEIMA gestiona diversas capacitaciones acerca de temas fundamentales para un buen ingeniero.

TEMAS PARA CAPACITACIONES	
Como hablar en público	✓
Bases de datos	✓
Programa Látex	✓
Como escribir artículos científicos	✓
Gestión de la información	✗
PMI	✗

FUNDADORES DEL SEMILLERO GEIMA



Carlos Arturo Rodríguez Arroyave

Carlos Arturo Rodríguez Arroyave es Ingeniero mecánico, Especialista en procesos de transformación del plástico y del caucho y Máster en Ingeniería de la Universidad EAFIT, ha estado en múltiples proyectos de investigación realizados entre la universidad EAFIT y el sector industrial del país, actualmente es profesor de planta a cargo de las materias de gestión de la tecnología e innovación y procesamiento de plásticos

Reconocimientos

- Mejor profesor especialización en diseño mecánico, universidad eafit - diciembre de 2012
- Mejor ponencia área ingenierías en cuarto encuentro regional de semilleros de investigación, nodo Antioquia RedColsi - de 2005
- Mención especial ponencia ix jornadas nacionales de mantenimiento, asociación colombiana de ingenieros mecánicos - de 1990
- Concurso nacional otto de greiff a los mejores trabajos de grado, u de los andes u nacional u javeriana u eafit u del norte - de 2004
- Mejor ponencia congreso internacional en educación a distancia teledu 2007, centro internacional de marketing territorial para la educación y el desarr - junio de 2007

Publicaciones

- Juegos y ejercicios prácticos como apoyo a los cursos interactivos para el área de administración de operaciones y logística en ingeniería” En: LACCEI Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education. 2010. Vol 4, No 1.
- Collaborative Global Design: A Virtual Course for Undergraduate Engineering Students” En: Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education. 2009. Vol 3, No 2.

FUNDADORES DEL SEMILLERO GEIMA

- Metodología para la manufactura de implantes craneales a partir de imágenes DICOM y tecnologías CAD/CAM/CNC. En revista Ingeniería Y Ciencia,2005.
- Modelo de cursos interactivos para Ingeniería con apoyo de una plataforma Bimodal. En: revista universidad EAFIT,2007.
- Acciones de competencia en la industria de motocicletas en Colombia. En: revista Espacios,2015
- La Automatización y Sistematización de la Producción en las Pymes" En: revista Portafolio,2006.

Proyectos

- Estudio y mejoramiento de la resistencia al impacto del PET reciclado, año 2000.
- Simulación de Flujo de Polímeros utilizando Métodos Numéricos, año 2000.
- Diseño, construcción, e implementación de una celda de manufactura flexible, año 2001
- Simulación de Flujo de Polímeros utilizando Métodos Numéricos, año 2001
- Manufactura rápida, año 2004
- Caucho - Regalías "Desarrollar un programa de mejoramiento integral de procesos con base en la innovación, orientado al establecimiento, cultivo, beneficio y transformación del caucho natural obtenido en el Bajo Cauca antioqueño, año 2014
- Incremento del desempeño industrial y la competitividad de proveedores del sector de motocicletas por la aplicación de herramientas para la manufactura de clase mundial, el desarrollo de nuevos productos, año 2013

FUNDADORES DEL SEMILLERO GEIMA

CARLOS MARIO ECHEVERRI CARTAGENA



Carlos Mario Echeverri Cartagena es Tecnólogo mecánico del Instituto Tecnológico Metropolitano, Ingeniero de producción de la Universidad EAFIT, Especialista en mantenimiento mecánico de la Universidad EAFIT y Máster en ingeniería PLM-Moldes de la Universidad EAFIT. Ingresó como docente de la universidad EAFIT en el año 1995, autor de varios artículos relacionados con la metodología PMI, actualmente es profesor de planta a cargo de las materias de Elementos de máquinas y equipos y Proyecto de elementos de máquinas y equipos, las cuales son dictadas en el octavo semestre del pregrado de ingeniería de producción.

Publicaciones

- Reconocimiento de la IEEE como una de los 10 mejores aportes en el LACCEI Multi-conference 2016. Nombre del artículo: " Project management: study case in an academic environment using PMBOK foundation". Confirmación enviada: Octubre 24, 2016. (ISSN 1932-8540)
- Reconocimiento de la IEEE y ministerio de educación de España como una de las mejores aportaciones en el ámbito académico de las conferencias latinoamericanas. Nombre del capítulo: "Application of the project management institute (PMI) framework for Project Courses of Machinery and Equipment". Enviado: Septiembre 26, 2016
- Título: "DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR THE MANUFACTURING OF WOOD PRODUCTS WITH A BPM/PLM APPROACH." Enviado: Noviembre 10, 2016-(ISSN0718-221,ISBN 0717-3644)
- Título: Diseño y fabricación de aerogeneradores en proyectos académicos de ingeniería de producción bajo el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI). (ISSN 07981015). Autores principales: Carlos Mario Echeverri Cartagena, Jorge Esteban Montoya Cano.
- Manufacturing process under a product lifecycle management approach". En: France. 2010

FUNDADORES DEL SEMILLERO GEIMA

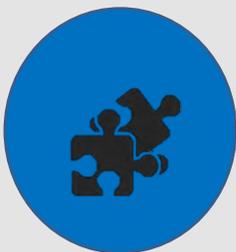
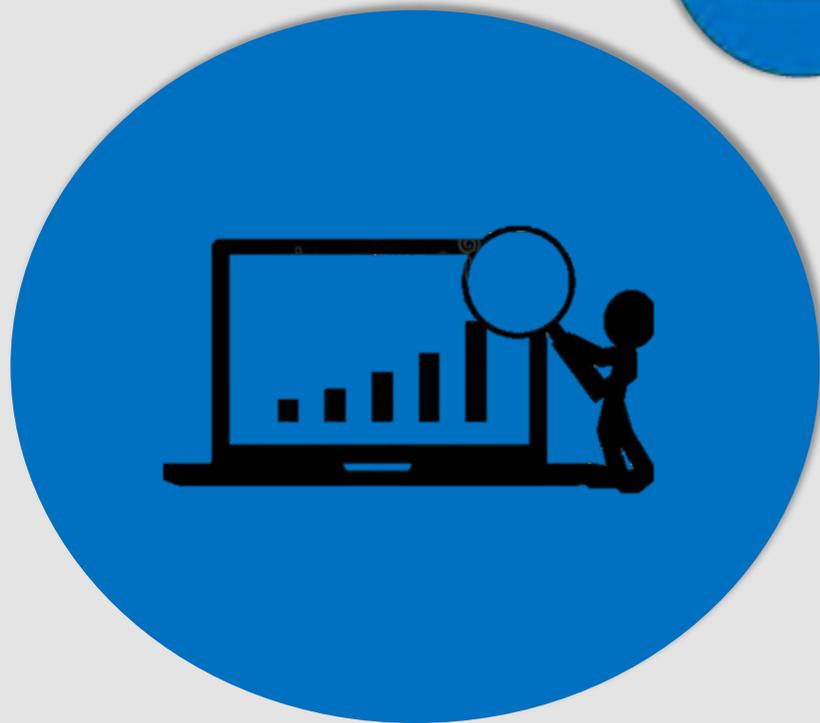
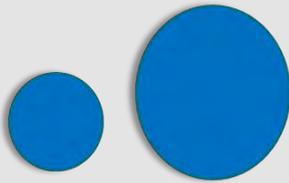
Proyectos

- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alcanzar la certificación GLOBAL G.A.P para pequeños agricultores de aguacate hass en el retiro Antioquia
- Aplicación de herramientas lean farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño
- Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura
- Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM: caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad
- Reconstrucción tridimensional de una turbina Pelton, usando metodologías de ingeniería inversa

Eventos científicos

- Ponencia, XIV LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI 2018), 2018, Lima-Perú
- Ponencia, XIV LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology (LACCEI 2016), 2016, Costa Rica – San José
- Ponencia, XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2008, Cartagena de Indias
- Ponencia, CONEIM 2008, 2008, Cartagena de Indias
- Ponencia, Encuentro Regional de Semilleros de Investigación, 2005, Medellín – Pabellón de Exposiciones
- Ponencia, Congreso Internacional Ingeniería de Producción, 1999, Medellín – Universidad EAFIT

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA



DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS PARA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE MADERA CON ENFOQUE DE BPM/PLM

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Arturo Rodríguez, Jorge Esteban Montoya Cano, Andrés Felipe Álzate Graciano

Resumen

Este caso de estudio muestra cómo la implementación de dos métodos diferentes que alcanzan la interacción efectiva de los procesos de ingeniería tiene diferencias estadísticamente significativas entre los indicadores de rendimiento clave para el alcance, el costo y el tiempo. Ambos desde la identificación de proyectos, productos, máquinas y en general, las tecnologías involucradas en la fabricación de productos de madera. El primero se basa en el marco del instituto de gestión de proyectos (PMI), mientras el segundo se basa en una mezcla de gestión de procesos de negocio (BPM) y gestión del ciclo de vida del producto (PLM) para gestión de proyectos. El estudio de caso describe los enfoques, suposiciones y tareas clave requeridas por ellos, así como el diseño experimental y la comparación estadística obtenida entre ellos. Al final, los efectos de ambos enfoques relacionados con los indicadores clave de rendimiento para el alcance, el tiempo y el costo son discutidos.

Palabras clave:

Gestión por procesos (BPM), Administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), tecnologías de fabricación, Indicadores de rendimiento (KPI), Gestión de proyectos

Introducción

La interacción entre procesos de ingeniería, arquetipos para desarrollo de productos y modelos de innovación constituye para muchas compañías el eje central que garantiza la supervivencia en un entorno en el que deben buscar adaptarse rápidamente a la expectativa de los mercados [1]. Características como el crecimiento de costos, escasos de mano

de obra especializada, tiempos para lanzamientos reducidos (time to market) y el distanciamiento entre la empresa y sus mercados debido a la globalización, ha llevado a los equipos de ingeniería a mejorar su conocimiento y desempeño, no obstante, los retos mencionados no son problemas aislados y, por tanto, un enfoque sistémico es requerido [2].

En la industria Aeroespacial y de defensa, así como las empresas de automoción son muy conscientes del hecho de que es imposible sobrevivir en la actualidad o adquirir nuevos segmentos de mercado sin una estrategia organizativa adecuada y orientada al ciclo de vida del producto [3][4]. Sin embargo, la adopción de la estrategia de PLM no es una solución trivial [5], y una gran cantidad de compañías aun invierten esfuerzos para encontrar estrategias que les ayude en el soporte de sus procesos. Estos, en conjunto con la planeación de la organización, la ejecución de la estrategia y el desarrollo de productos, necesitan ser medidos e integrados a fin de generar valor con una mayor confiabilidad y menores costos a la vez que se desarrollan de manera rápida y con integridad de la información tal como se logra con la administración a través del ciclo de vida del producto PLM (Del inglés-product lifecycle management), en otras industrias [6].

Para tales mediciones, en la administración de proyectos se propone el uso de indicadores de desempeño (KPI del inglés- Key Performance Indicator), como la métrica del rendimiento de la gestión de proyectos y los recursos utilizados para la consecución de los mismos [7]. Estos entonces son objeto de uso por las organizaciones para determinar si los resultados obtenidos en cada medición son importantes para contrastar lo obtenido entre diferentes escenarios [8].

Sin embargo, las operaciones de las compañías se han complejizado dando lugar a procesos poco claros que presentan falta de consistencia en estas

métricas a través de los ciclos de vida de los productos, teniendo diferentes indicadores que expresan la misma métrica, utilizan la misma información, pero se calculan y se definen de forma diferente [9]. Lo anterior podría sugerir las siguientes preguntas: 1. ¿Cómo se podría garantizar trazabilidad en la información a través del ciclo de vida del producto para la industria de productos madereros? 2. ¿Cómo se podría aumentar la eficiencia de los procesos cuando se desarrollan máquinas complejas?

Para responder a estas preguntas se erige una propuesta metodológica que tiene como eje central los enfoques de gestión por procesos (BPM - del inglés, Business Process Management) en conjunto con la estrategia de administración a través del ciclo de vida de productos (PLM - del inglés, Product Lifecycle Management), integrándose para facilitar la creación de productos de alta complejidad, al tiempo que se impulsa la productividad de los equipos involucrados en la interacción de procesos de ingeniería e innovación.

Por lo anterior, el objetivo central de la investigación es presentar el método propuesto para el desarrollo de proyectos en el cual se diseñan y fabrican máquinas para la manufactura de productos de madera y a su vez el análisis de la diferencia significativa que se presentan en los indicadores de rendimiento respecto al método anterior.

II. Materiales y métodos

A. Premisas

La gestión de proyectos se ha convertido en una poderosa manera de integrar las funciones de las organizaciones y motivar a los grupos para alcanzar mayores niveles de rendimiento y productividad [10].

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto [7].

En un proyecto típico, muchas tareas se ejecutan simultáneamente, una con la otra. Otra característica clave de los proyectos es la existencia de relaciones de precedencia entre las tareas. Estas relaciones suelen definir las restricciones que requieren una tarea a ser completada antes de que otra comience [11].

B. Método AS-IS

La metodología de administración de proyectos es un enfoque estructurado compuesto por un conjunto de procesos con actividades claramente definidas destinadas a la ejecución de proyectos [12]. Ahora bien, una administración de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Se puede ver como la aplicación secuencial

de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado, las capacidades se pueden almacenar y transferir con el tiempo, el espacio y el contexto. Además, la administración de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a la pérdida de conocimiento tácito almacenado en las memorias individuales [13].

Para este caso, el proyecto se regirá bajo el marco de fundamentación del PMI, con un ciclo de vida de proyecto predictivo, el cual se define como una secuencia de actividades a ser seguidas en orden, donde la estrategia principal es definir y seguir el progreso del desarrollo del proyecto hacia puntos de revisión bien definidos, es decir, se avanza en la realización del proyecto y se reparan los errores; es un proceso de continuo de realización y reparación. Dentro de las principales características del método para un proyecto a trabajarse con ciclo de vida predictivo se encuentran:

1. Es lineal, Las actividades se encuentran relacionadas secuencialmente, Cada etapa tiene una entrada y una salida.
2. La entrada de una actividad es la salida de la etapa anterior, por lo cual no se puede dar inicio a la siguiente fase.

Por último, en [14] se presentan detalles adicionales de este método, de allí se toma la siguiente ilustración donde se muestran las herramientas metodológicas, fases

(Inicio, planeación, ejecución, control y cierre), y los entregables utilizados en el mismo.

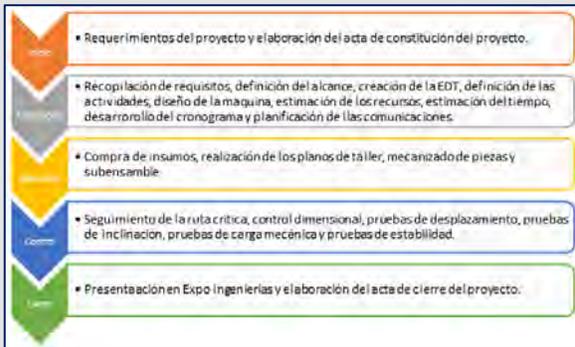


Fig. 1 Herramientas utilizadas en el caso de estudio para la gestión del Proyecto (Echeverri, 2016).

C. Método TO-BE

El enfoque propuesto de integración de gestión por procesos y el uso del enfoque de administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), consiste en un proceso iterativo para el cual de manera gradual se realizan entregas del producto sin generar esperas hasta el final del proyecto. Ahora, el valor agregado del uso de este enfoque consiste en lograr traer prácticas y conocimiento de áreas diferentes de ingeniería para lograr integrar el conocimiento de diseño mecánico y fundamentos de fabricación con áreas de administración de proyectos que permitan acortar los tiempos de entrega de la maquinaria al sistema productivo. Adicionalmente, con la estrategia de PLM e ingeniería colaborativa se proponen herramientas de TI para el manejo de información del proyecto de manera ordenada y controlada por el equipo mismo.

Como se menciona anteriormente, el enfoque difiere del método AS-IS en que este se basa en liberaciones de subensambles del producto para ser probados como alternativa al uso de la metodología secuencial tipo cascada. Este tipo de enfoque puede ser homologado a proyectos ejecutados como un proceso que es acoplado a partir de componentes, lo cual es comúnmente utilizado en la ingeniería de software, como respuesta a las limitaciones que se tienen en las metodologías en secuencia [15], con el objetivo de que los equipos estén en capacidad de responder a eventos de incertidumbre, con ejecución en modo de incrementales y etapas iterativas [16].

Para detallar e ilustrar la implementación de la metodología esta partió de la definición iteraciones para la construcción del prototipo (Ver figura 2).



Fig. 2 Metodología Académica para el proyecto de elementos de máquinas. (Echeverri, 2016)

Una vez definida el número de iteraciones para desarrollar el trabajo, en cada iteración, de acuerdo a [17] se contemplan 5 procesos: 1. Levantamiento de requerimientos, 2. Diseño detallado, simulación y pruebas del diseñador, 3. Fabricación y ensamble de componentes para prototipo, 4. Planeación y ejecución de casos prueba de producto, 5.

Liberación, evaluación y priorización del siguiente ciclo (Ver figura 3).



Fig 3. Detalle de procesos dentro de cada iteración (Echeverri, 2016)

D. Método de Investigación

El presente estudio se realiza en los laboratorios de fabricación e ingeniería del detalle del edificio de ingenierías de la universidad EAFIT. El diseño experimental se establece de manera comparativa conformando 10 equipos de proyecto, de los cuales 2 estarán clasificados en el grupo control y tendrán su actuar definido bajo el método sin tratamiento de diseño y fabricación (Método AS-IS). Por otra parte, el número restante de proyectos estarán en el grupo con tratamiento, el cual efectuara los procesos de diseño y fabricación bajo el método propuesto (Método TO-BE). El alcance de cada uno de los proyectos cubija el diseño y fabricación de un centro de mecanizado de control numérico por equipo (Ver figura 4), con el objetivo de desplegar una línea de producción para la fabricación de piezas de madera que se puedan ensamblar logrando la fabricación de productos complejos (Ver figura 5).



Fig. 5 Productos fabricados



Fig. 4 Centro de mecanizado de control numérico

En suma, Los 10 proyectos tendrán el mismo alcance, acceso a los mismos talleres, equipos de cómputo, paquetes de software, operarios y laboratorios, a fin de evitar discrepancias en cuanto al uso de máquinas, herramientas, equipos y/o cualquier otro tipo de recurso físico que pueda representar influencia significativa diferente a los enfoques metodológicos.

El cronograma de trabajo es establecido en 16 semanas. Es decir, el total de productos, planos de taller y de manufactura, manuales de operación, el centro de mecanizado y la línea en estado

funcional deben ser entregados en la semana 16 una vez se dé inicio al proyecto. Para el caso de estudio, basados en lo establecido por el [7], Cualquier condición que se salga de los parámetros básicos del alcance y el cronograma, se considera un incumplimiento de las condiciones iniciales del proyecto.

Finalmente, las siguientes son características relevantes de cada uno de los grupos de proyecto:

- Miembros del programa de Ingeniería de producción de último semestre.
- 5 miembros para el desarrollo de cada uno de los proyectos.
- Soporte técnico y funcional para la ejecución de cada una de las etapas.
- Uso de software y paquetes de simulación, diseño y manufactura (Solidworks, SolidCam, Creo parametric 2.0).
- Los grupos control y los grupos con tratamiento tendrán las mismas métricas para las variables alcance, tiempo y cronograma.

II. Método de medición de desempeño

Para esta investigación se hace uso del método de gestión del valor ganado (EVM). La cual es una metodología que combina medidas para evaluar el avance y desempeño de proyectos [7]. En particular se han seleccionado los KPI entorno a las variables de tiempo y costo, para lo que se tienen los siguientes: Índice de Desempeño del Alcance, del costo y del Cronograma.

Para dar lugar a la especificación de estos indicadores es necesario definir las variables entrada que tendrán los indicadores como se muestra a continuación:

- El valor planificado (PV): Es el presupuesto o costo autorizado para realizar el proyecto, es decir, el trabajo programado.
- El valor ganado (EV): Es la medida del trabajo realizado en términos del presupuesto autorizado para dicho trabajo. Este es utilizado a menudo para medir el avance de un proyecto dado que corresponde con el avance de las tareas.
- Costo real (AC): Es el costo real en el que se ha incurrido para realizar los trabajos que son requeridos en el proyecto.
- Requerimientos satisfechos (RS): Constituyen el número de requerimientos que han sido liberados para ser utilizados por el proyecto.
- Requerimientos planificados (RP): Constituyen el alcance en términos de los requerimientos que lo representan y que constituyen el total de lo solicitado.

A. Índice de Desempeño del Alcance

Completar los requerimientos es uno de los factores clave de éxito para la gestión de proyectos [18]. Un índice de rendimiento de los requisitos puede medir el grado en que los resultados del proyecto cumplen con los requisitos.

$$SPA = (RS/RP) \quad (1)$$

Donde:

SPA= Índice de desempeño del alcance.

RS= Numero de requerimientos satisfechos.

RP= Numero de Requerimientos planificados.

B. Índice de Desempeño del Cronograma

De acuerdo con el PMI (2013), el índice de desempeño del cronograma (SPI) es el indicador que se encarga de evidenciar la eficiencia con la que el equipo de proyecto está utilizando su tiempo. Este es utilizado a menudo junto con el índice de desempeño del costo para proyectar las métricas finales al fin del proyecto y se define como la razón entre el valor ganado y el valor planificado.

$$SPI = (EV/PV) \quad (2)$$

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado. PV= Valor planificado.

C. Índice de Desempeño del Costo

De acuerdo con el PMI (2013), el índice de desempeño del costo (CPI) es la medida más crítica de toda la metodología EVM dado mide la eficiencia del costo respecto al trabajo completado. Este se define como la razón entre el valor ganado y el costo real del proyecto, que si es tomado con corte al final del proyecto representará el costo total.

$$CPI = (EV/AC) \quad (3)$$

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado.

AC= Costo real.

D. Procesamiento de Datos

Las comparaciones de grupos (Grupo control vs. Grupo con tratamiento) se llevaron a cabo por medio de una prueba t de dos muestras y una sola cola suponiendo que las dos muestras procedían de distribuciones normales. Además, antes de proceder con el t-test de una vía se probará que las varianzas son independientes y significativamente diferentes (Prueba F para varianzas de dos muestras). Todas las pruebas se realizan con un nivel de confianza de 95% ($\alpha = 0.05$).

Las hipótesis consideradas en el experimento serán las siguientes:

- H1: Los proyectos involucrados en la investigación incrementan cada uno de sus KPI de manera independiente en más del 15% con el método propuesto.
- H0: Los proyectos involucrados en la investigación NO incrementan cada uno de sus KPI de manera independiente en más del 15% con el método propuesto.

No se realiza ninguna corrección del valor de α para las pruebas debido a que el tamaño de muestra es relativamente pequeño. En este punto, es conveniente resaltar que sigue siendo un hecho estadístico que las medidas que disminuyen α aumentará a menudo β [19]. Ahora, Mudge et al. [20] argumentaron que los investigadores deberán reducirse al mínimo la probabilidad combinada (o

coste) de los errores de tipo I (es decir, falsos positivos) y errores de tipo II (es decir, falsos negativos). De este mismo estudio se sostiene que cuando el tamaño de la muestra es más pequeño, un valor α más liberal debe ajustarse para minimizar la probabilidad total de error. Soportado en lo anterior, en el presente caso este hecho se utiliza para no ajustar $\alpha = 0.05$ a valores menores a que puedan aumentar desproporcionadamente el valor de β .

III. Resultados

Durante la realización del experimento se observan diferencias en los indicadores de rendimiento entre los grupos que actuaron con el método actual (Grupo control/AS-IS) y el método propuesto (grupo con tratamiento/TO-BE). En general se registra una mejora de los indicadores de rendimiento del proyecto en las variables seleccionadas para la investigación (Ver tabla 1), en particular al realizar las pruebas de varianza se prueba que las varianzas son desiguales (Ver tabla 2), evitando un sesgo para los t-test de una cola involucrados en las pruebas de hipótesis.

Respecto a la hipótesis planteada de una mejora de por lo menos el 15% en los indicadores de performance. Esta se prueba bajo la hipótesis nula con el estadístico t, el cual se distribuye con una distribución t de Student con $n - 1$ grados de libertad, por lo que H_0 se rechaza si $|t_0| > t_{\alpha/2, n-1}$, o si $\text{valor-p} < \alpha$.

De lo anterior, se observa que para todos los indicadores se cumple que $\text{valor-p} < \alpha$ y por tanto se reporta una diferencia

significativa en los KPI de por lo menos el 15% entre el grupo control y el grupo con tratamiento (Ver Tabla 3).

Tabla I: Estadística descriptiva para el grupo control (AS-IS) y el grupo con tratamiento (TO-BE)

Estadística descriptiva					
	Alcance		Tiempo		
	Control	Tratamiento	Control	Tratamiento	
Media	0.93	1.20	Media	0.76	1.25
Error típico	0.0846	0.00996	Error típico	0.16350	0.00435
Mediana	0.946	1.197	Mediana	0.76	1.255
Desviación estándar	0.1196	0.0169	Desviación estándar	0.23122	0.01685
Costo					
	Control	Tratamiento			
Media	1.82	1.12			
Error típico	0.0662	0.00267			
Mediana	1.82	1.12			
Desviación estándar	0.09362	0.00756			

Tabla II: Resultados de las pruebas f para las varianzas de los indicadores de rendimiento entre grupo control y grupo con tratamiento

	Alcance	Tiempo	Costo
F	50.41521509	188.3026415	153.3854
P(F<=f) una cola	0.0001936	2.57302E-06	5.1429E-06
Valor crítico para F (una cola)	5.591447851	5.591447851	5.591447851
α	0.05		

Dado que $F_0 > F_{\alpha/2, n_1-1, n_2-1}$ y $\text{Valor-p} < \alpha$. Se acepta que las varianzas son independientes y significativamente diferentes.

Tabla III: Resultados de los t-test de una cola con varianzas desiguales entre el grupo control y el grupo tratamiento para cada indicador de rendimiento

	Alcance	Tiempo	Costo
Diferencia hipotética de las medias	0.15	0.15	0.15
Estadístico t	-5.93978278	-3.93460778	8.30139473
P(T<=t) una cola	0.05309161	0.07922093	0.03916027
Valor crítico de t (una cola)	6.31375151	6.31375151	6.31375151
P(T<=t) dos colas	0.10618322	0.15844186	0.07632055
Valor crítico de t (dos colas)	12.7062047	12.7062047	12.7062047
α	0.05		

Se acepta H_a para cada uno de los indicadores de rendimiento basados en

que se cumple que $\text{valor-}p < \alpha$ para las 3 variables, por tanto, existe una diferencia significativa en cada uno de los KPI's de por lo menos el 15% entre el grupo control y el grupo con tratamiento.

IV. Discusión

Retomando, el objetivo de este estudio fue evaluar las diferencias en el rendimiento global de los proyectos entre un método propuesto por iteraciones, que integraba enfoques de gestión por procesos (BPM) en conjunto con administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), y un grupo control que utilizó el método actual suponiendo un ciclo de vida predictivo (Cascada) para el desarrollo de tecnologías de fabricación de artículos de madera. Tales diferencias, fueron medidas a lo largo de los proyectos teniendo en cuenta el método de gestión del valor ganado (EVM).

Ahora bien, gestionando los proyectos se observan diferencias notables no solo en estos indicadores sino, además, en la gestión interna de los miembros de los equipos. Una diferencia importante en relación con lo anterior es el nivel de comunicación que llegan a desarrollar los equipos entre el método TO-BE y el método AS-IS. Esto se refiere que, con el método propuesto, los equipos desarrollaron el trabajo de cada etapa con una mayor cohesión y una mayor sinergia para llevar a cabo procesos del proyecto proponiendo soluciones rápidas para superar dificultades y realizar una detección temprana de defectos con producto terminado. Por otra parte, el proceso AS-IS al tener a los grupos de proyecto caracterizados y un mayor rompimiento

de las actividades brindó una mejor claridad en los miembros de las tareas que debe realizar cada uno y los momentos en los que deben intervenir generando situaciones de un mayor control, generando en consecuencia que los miembros perciban sus tareas como actividades de relevo en las que la cohesión del equipo se ve afectada con la aparición de dificultades.

A pesar de lo anterior se observa un desempeño satisfactorio para el indicador de rendimiento del alcance para los dos enfoques. Aunque se presenten diferencias porcentuales entre los mismos, esto puede explicarse dado el enfoque hacia el proceso final de producción que desempeñaría la máquina el cual tuvo en cuenta el método TO-BE. Es decir, enfocando a los equipos hacia la función de fabricación de la máquina estos tienen en cuenta no solo la entrega de la máquina funcional, sino además la integración que el proyecto debe garantizar para no tener afectaciones a nivel del proceso productivo, teniendo en consecuencia una disminución de re-procesos al momento de la puesta en marcha de toda la línea de producción. Este punto en comparación al proceso AS-IS tiene un comportamiento diferente en la medida en que es en la etapa de ejecución donde se observan los re-procesos y allí la intención de los equipos se enfocó en garantizar la función de la máquina en conjunto sin considerar para ese momento la integración, cabe mencionar que este comportamiento se presentó de manera natural en los dos grupos control y si bien este comportamiento no evidencia una gran afectación del indicador del alcance (Es decir, el trabajo se está

realizando), si tiene mayor visibilidad en esfuerzo, mostrando comportamientos crecientes del tiempo y costo que son requeridos para llegar a completar el cierre del proyecto.

Si bien, los datos muestran mejoras significativas entre los indicadores de rendimiento, se sugiere proceder de manera diligente con la fundamentación en BPM y PLM, para que en caso de propender masivamente por una implementación se considere un periodo de estabilización que permita el acople de los equipos a nuevos métodos trabajo. Al tiempo en el que se producen ajustes de la cultura de los mismos para poder desarrollar de manera integral un pensamiento orientado a facilitar la elaboración de productos de madera con tecnologías de fabricación sin olvidar la sincronización, integralidad y en general, el rendimiento combinado de toda la línea de producción con todos los elementos que puedan intervenir en ella.

Por último, se observó que con el uso del enfoque de PLM los equipos de manera natural promovieron prácticas de reingeniería en cuanto al reúso de componentes, planos, modelos 3D y en general la documentación de los proyectos permitiendo la reducción de tiempos en el diseño de la máquina y en el diseño del producto a manufacturar. La definición de materiales, herramientas de corte y parámetros de fabricación clave tales como: avance, profundidad de corte y revoluciones por minuto al ser definidos de manera iterativa y a medida que avanza el proyecto, permitió revisión en detalle en el momento en el que son requeridos en cada ciclo generando tiempos cortos de

pedido, lo cual al final se traduce en minimización del riesgo de escases de recursos necesarios para fabricación. En este punto, para la metodología As-Is, los materiales, herramientas y parámetros de fabricación son definidos desde los diseños, lo cual tiene también resultados satisfactorios en cuanto a exactitud y precisión de los procesos de manufactura y su simulación, pero traduce tiempos en el proceso enfocados en documentación en lugar de producto terminado.

Estos tiempos entre los diseños y la fabricación de la máquina, establecen riesgos de escases de recursos con impacto alto en las métricas del proyecto en cuanto a que existe la posibilidad de que en la etapa de ejecución los recursos requeridos no se encuentren disponibles. Esta situación puntual se presentó durante la investigación, lo cual tuvo influencia directa en los costos de compra de materiales y tiempos adicionales para el ajuste de los diseños, parámetros y herramientas del proceso actual. Ahora, en cuanto a la trazabilidad de toda la información y la documentación de los proyectos, en específico, el uso de repositorios informáticos del PLM en lugar de los repositorios en software, herramientas y rutas locales, establece un punto de referencia importante. En específico, con el enfoque To-Be se custodió el 100% de la información del proyecto parte de todos los equipos bajo este tratamiento, mientras que con el enfoque As-Is solo custodió el 80% de la documentación de todo el proyecto.

V. Conclusiones

Para las compañías del sector industrial de manufactura, y en este caso para las compañías que desarrollan productos utilizando como materia prima madera, es crucial dominar prácticas para la administración de sus proyectos de desarrollo de productos y, además, la forma en la que ellos desarrollan su tecnología a fin de bajar la presión que puede generar ser oportunos en el alcance de sus objetivos en forma costo eficiente. Las variables que pueden afectar el logro de objetivos a veces pueden resultar obvias, sin embargo, la interacción de los equipos dentro de los procesos de ingeniería en el desarrollo de tecnología, productos y servicios en diferentes industrias es altamente compleja [1], [21].

Luego, de no tener un enfoque sistémico las compañías se encontrarán en problemas profundos que aumentaran la complejidad de sus procesos y, en consecuencia, afectará la eficiencia atada a ellos. Los métodos descritos y comparados en este estudio reflejan como el ordenamiento de tareas, procesos, entregables y equipos, satisfacen la necesidad de desarrollar tecnología de manera en la que esta complejidad se reduce significativamente si se implementan las mismas de manera minuciosa. En este caso, el estudio es claro en cuanto a que los indicadores de rendimiento muestran mejores métricas entre ambos métodos, logrando al final una diferencia del 15% para los indicadores asociados a objetivos (alcance), oportunidad (tiempo) y recursos invertidos (costo).

Ahora, en la revisión de los métodos, la interacción de los equipos enfocada a

procesos en lugar de la segmentación por tareas del método en cascada, sugiere una mejora en la comunicación, cohesión y sinergia entre los equipos y sus dinámicas de trabajo. Este ítem, genera especial atención en el futuro de la investigación, ya que es requerido encontrar una definición para los diferentes indicadores de rendimiento que podrían dar métricas cualitativas o cuantitativas sobre las variables que finalmente están relacionadas al desarrollo de las personas que componen los equipos respecto al método de gestión del proyecto.

Respecto a las preguntas que motivan la investigación los resultados permiten concluir, de acuerdo a los datos arrojados por el experimento y a las pruebas estadísticas, que existen diferencias significativas en los métodos. Además, en el caso puntual del despliegue del método iterativo (To-Be) como proceso definitivo, los resultados refieren una mejora significativa de por lo menos el 15% en los indicadores globales de rendimiento de costo, alcance y tiempo, respecto al proceso en cascada (As-Is). Además, resulta un hecho relevante a concluir en cuanto que el aprovechamiento del enfoque de PLM mejora de manera notable la trazabilidad de la información y la custodia de la documentación perteneciente a los proyectos.

Referencias

[1] C. Ebert and J. D. Man, "Effectively utilizing project, product and process knowledge," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 50, no. 6, pp. 579–594, May 2008.

[2] Z. Xu, X. G. Ming, W. Song, L. He, and M. Li, "Collaborative Project

Management: A Systemic Approach to Heavy Equipment Manufacturing Project Management," *Syst. Pract. Action Res.*, vol. 27, no. 2, pp. 141–164, Dec. 2012.

[3] M. Alemanni, G. Alessia, S. Tornincasa, and E. Vezzetti, "Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study," *Comput. Ind.*, vol. 59, no. 8, pp. 833–841, oct. 2008.

[4] M. G. Violante and E. Vezzetti, "A methodology for supporting requirement management tools (RMt) design in the PLM scenario: An user-based strategy," *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 7, pp. 1065–1075, Setiembre 2014.

[5] M. Bokinge and J. Malmqvist, "PLM implementation guidelines – relevance and application in practice: a discussion of findings from a retrospective case study," *Int. J. Prod. Lifecycle Manag.*, Apr. 2012.

[6] X. G. Ming, J. Q. Yan, W. F. Lu, and D. Z. Ma, "Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management – Status Review and Future Trend," *Concurr. Eng.*, vol. 13, no. 4, pp. 311–319, Dec. 2005.

[7] Project Management Institute, Inc., *Guía del PMBOK*. Newtown Square, Pensilvania, 2013.

[8] G. Issar and L. R. Navon, *Key Performances Indicators (KPI)*. Springer International Publishing, 2016.

[9] G. Pintzos, M. Matsas, and G. Chryssolouris, "Defining Manufacturing Performance Indicators Using Semantic Ontology Representation," *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 8–13, 2012.

[10] G. Fernandes, S. Ward, and M. Araújo, "Improving and embedding project management practice in organisations – A qualitative study," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 33, no. 5, pp. 1052–1067, jul. 2015.

[11] N. G. Hall, "Project management: Recent developments and research opportunities," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 129–143, jun. 2012.

[12] M. A. Terlizzi, F. de S. Meirelles, and H. R. O. C. de Moraes, "Barriers to the use of an IT Project Management Methodology in a large financial institution," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 34, no. 3, pp. 467–479, abril 2016.

[13] O. Ibert, "Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology," *Res. Policy*, vol. 33, no. 10, pp. 1529–1546, Dec. 2004.

[14] C. Echeverri, C. Rodríguez, J. Montoya, and A. Alzate, "Aplicación del Marco de Fundamentación del Project Management Institute (PMI) para la Asignatura Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos," *Eng. Innov. Glob. Sustain. Proc. 14th Lat. Am. Caribb. Conf. Eng. Technol. - LACCEI*, Aug. 2016.

[15] I. Sommerville, *Software Engineering*, Ninth. Pearson education Inc., 2010.

[16] T. Dingsøyr, S. Nerur, V. Balijepally, and N. B. Moe, "A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development," *J. Syst. Softw.*, vol. 85, no. 6, pp. 1213–1221, jun. 2012.

[17] C. Echeverri, C. Rodríguez, J. Montoya, and A. Alzate, "Diseño y

fabricación de máquinas con enfoque PLM: Caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad de ingeniería,” Eng. Innov. Glob. Sustain. Proc. 14th Lat. Am. Caribb. Conf. Eng. Technol. - LACCEI, Aug. 2016.

[18] C. Center of business practices, Measures of Project Management Performance and Value. A BENCHMARK OF CURRENT BUSINESS PRACTICES. CENTER FOR BUSINESS PRACTICES, 2005.

[19] K. Fiedler, F. Kutzner, and J. I. Krueger, “The Long Way From -Error

Control to Validity Proper: Problems With a Short-Sighted FalsePositive Debate,” *Perspect. Psychol. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 661–669, nov. 2012.

[20] J. F. Mudge, L. F. Baker, C. B. Edge, and J. E. Houlahan, “Setting an Optimal α That Minimizes Errors in Null Hypothesis Significance Tests,” *PLoS ONE*, vol. 7, no. 2, p. e32734, Feb. 2012.

[21] F. Segonds, F. Mantelet, J. Nelson, and S. Gaillard, “Proposition of a PLM tool to support textile design: A case study applied to the definition of the early stages of design requirements,” *Comput. Ind.*, vol. 66, pp. 21–30, enero 2015.

Publicado en: 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19–21 July 2018, Lima, Peru.

BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA (BPM) PARA ALCANZAR LA CERTIFICACIÓN GLOBAL G.A.P PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES DE AGUACATE HASS EN EL RETIRO ANTIOQUIA

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Arturo Rodríguez Arroyave, Ana María Escobar López, Santiago Aguirre Martínez, Isabel Cristina Ramírez González

Resumen:

Al observar la falta de prácticas estandarizadas en la producción de aguacate HASS entre pequeños agricultores se decidió establecer un flujo de procesos, basándose en la metodología Lean, que garantizará la organización adecuada de estos. El proyecto se realizó en pequeñas fincas de aguacate HASS en el municipio del retiro, estableciendo los cinco procesos claves de la metodología: Identificación del proceso, Implementación del VSM, Análisis de las problemáticas presentes. Aplicación de las herramientas lean y Verificación de la mejora; todo con el fin de establecer bases sólidas para la obtención de la certificación internacional en buenas prácticas agrícolas GLOBAL G.A.P.

Palabras claves: Lean , mapa de valor, certificación

Introducción:

Colombia ha sido reconocida a nivel global como el tercer país productor de aguacate y el segundo en cuanto al área cosechada con una participación del 6% del área mundial. El cultivo de aguacate en Colombia se ha incrementado notablemente, siendo la variedad Hass la que mayor dinámica de crecimiento presenta frente a las demás variedades cultivadas en Colombia. Al cierre del periodo del año 2016 Colombia produjo 78.547 toneladas de aguacate Hass en un

área sembrada que llega aproximadamente a 14.084 hectáreas, no obstante, Antioquia cuenta con un total de 7.500 hectáreas sembradas, lo que lo convierte en una de las potencias en la producción de esta fruta (Aguacate: el oro verde de la economía colombiana, 2017). El oriente antioqueño es uno de los mayores contribuidores a la producción de aguacate en Antioquia, especialmente el municipio El Retiro.

Actualmente este municipio es uno de los principales productores de aguacate de

exportación en Antioquia, el cual cuenta con aproximadamente 607 hectáreas sembradas (Evaluaciones municipales agropecuarias, 2016). Este proyecto pretende emplear principalmente la herramienta VSM (mapa de cadena de valor), que se basa en la identificación de desperdicios, la comprensión de los componentes de cada operación y el planteamiento de soluciones a las problemáticas encontradas en la evaluación de todo el proceso, con el fin de crear una base sólida que les permita a los pequeños agricultores de aguacate identificar aspectos claves para la obtención de la certificación GLOBAL G.A.P.

Producción de aguacate HASS en Antioquia

Los grandes beneficios en cuanto a la variedad de climas y riqueza de suelos, que tienen las regiones de oriente, norte y suroeste antioqueño permiten que el departamento de Antioquia sea protagonista en el cultivo y exportación de aguacate de variedad Hass. De las 18.201 toneladas de aguacate vendidas en el exterior por el país en el año 2016, el departamento antioqueño fue uno de los principales contribuidores a esta cifra, aportando unas 9.000 toneladas con un valor cercano a los 17 millones de dólares. (Sierra Suárez, 2017)

En este orden de ideas, el área sembrada de aguacate Hass en los principales departamentos productores es aproximadamente 14 mil hectáreas, ubicadas en El Eje Cafetero, Tolima, Antioquia y Valle del Cauca, de las cuales

Antioquia cuenta con un total de 7.500 hectáreas, y 2.200 productores, entre pequeños y grandes, según cifras de la secretaría de agricultura del departamento. La meta a nivel nacional es llegar a vender 50 millones de dólares de esta fruta para el año 2018, de los cuales el 50% de este valor sería aportado por Antioquia, según pronostican empresarios e investigadores. (Sierra Suárez, 2017)



Imagen I. producción de aguacate HASS en municipios del departamento de Antioquia

Actualmente, el municipio del Retiro sigue siendo uno de los mayores contribuyentes a la producción de aguacate de Antioquia. Pese a los esfuerzos conjuntos entre el departamento de Antioquia a través de la secretaría de Agricultura y desarrollo rural y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) para mejorar las condiciones del cultivo y promover la exportación, todavía una gran cantidad de pequeñas fincas productoras de aguacate Hass no cuentan con parámetros definidos en cuanto a la aplicación de buenas prácticas de manufactura en sus plantaciones, lo que le impide en gran parte aplicar a las certificaciones necesarias para recibir los permisos de exportación a destinos internacionales. Así pues, las buenas prácticas de manufactura para las

pequeñas fincas cultivadoras de aguacate Hass del municipio El Retiro, surge como propuesta para el mejoramiento del sistema productivo de la finca, a través de una guía que le permitan obtener bases sólidas al agricultor y en un futuro pueda postularse para obtener la certificación GLOBAL G.A.P.

Proceso de cultivo de aguacate

Para poder ser exitosos al realizar la estandarización de las buenas prácticas de manufactura en el sistema productivo de las fincas de pequeños cultivadores de aguacate, es de suma importancia conocer el proceso, por tanto, para el cultivo de aguacate en Colombia se consideran las siguientes prácticas:

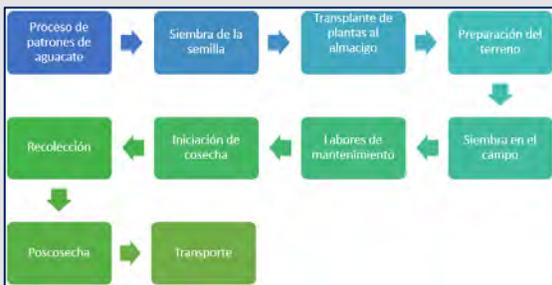


Imagen II. proceso de cosecha de aguacate HASS

Sistemas de aseguramiento de calidad e inocuidad en frutas

Son todas las actividades sincronizadas, que buscan brindar confianza en cuanto al debido cumplimiento de los requisitos de calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas que se producen.

Existen tres sistemas de aseguramiento de la calidad, los cuales son:

- **Buenas prácticas agrícolas (BPA)**

Las Buenas Prácticas Agrícolas son un conjunto de hábitos y principios que permiten realizar de manera adecuada las labores que se llevan a cabo en el proceso productivo, desde la selección del terreno y el material a sembrar, hasta la entrega del producto al cliente final, teniendo en cuenta la protección del medio ambiente, y la seguridad del trabajador, garantizando la utilización de productos inocuos o libres de riesgo para el ser humano. (Manual Actualización Tecnológica y BPA Cultivo de Aguacate, 2014)

- **Buenas prácticas de manufactura (BPM)**

Las buenas prácticas de manufactura consisten en un conjunto de procedimientos, condiciones y controles que se realizan en la finca para minimizar la contaminación de las frutas u hortalizas, contribuyendo a la calidad y garantía de productos inocuos para el consumidor. Las BPM se deben implementar en toda la cadena de producción de la finca, desde el cultivo hasta el transporte hacia el consumidor final, estas involucran los siguientes elementos:

- Organización de instalaciones exteriores e interiores
- Transporte
- Almacenamiento de herramientas y alimentos
- Capacitación, salud e higiene del personal
- Programas de limpieza y saneamiento

Certificación GLOBAL G.A.P

GLOBAL G.A.P. es un programa de certificación líder en el mundo, la cual establece normas voluntarias para la certificación de productos agrícolas a nivel mundial con el fin de promover en los productores y los propietarios de las empresas de producción y comercialización de alimentos inocuos y seguros, protegiendo los recursos e implementando las Buenas Prácticas Agrícolas.

La norma GLOBAL G.A.P de aseguramiento integrado de fincas (IFA), está compuesta por reglamentos generales y los puntos de control y criterios de cumplimiento (PCCC). Los HCCC se encuentran divididos en tres módulos principales:

- **Módulo base para todo tipo de explotación agropecuaria**

En este módulo se encuentran todos los aspectos y requisitos mínimos que cada unidad productiva debe cumplir para obtener la certificación. Los requisitos solicitados en este módulo son:

- Historial y manejo del sitio
- Mantenimiento de registros y autoevaluación interna
- Higiene
- Salud, seguridad y bienestar del trabajador
- Subcontratistas
- Gestión de residuos y agentes contaminantes
- Recepción de sugerencias
- Procedimiento de recuperación de productos del mercado

- **Módulo base para cultivos**

Se establecen las disposiciones que se deben cumplir en los cultivos, para asegurar la productividad y adecuado manejo de los productos. Estos requisitos son:

- Trazabilidad
- Elección de material de propagación vegetal
- Fertilización
- Gestión del agua
- Productos fitosanitarios
- Equipos y herramientas

- **Módulo para frutas y hortalizas**

Establece los requisitos para un producto específico o un aspecto diferente de la producción alimentaria y cadena de suministro, en este caso para la producción de frutas y hortalizas. Dentro de estos aspectos evaluados se tienen:

- Control de precosecha
- Actividades de cosecha y poscosecha

Metodología

Para la implementación del proyecto se seguirán los pasos establecidos en las herramientas lean, no obstante, debe aclararse que a medida que avanza el proyecto se modificarán dichos pasos para asegurar su adaptabilidad a las situaciones que se presenten.

1. Identificación del proceso

En este paso lo que se realiza es una búsqueda de información sobre las condiciones actuales de la finca de

aguacate. Con este paso se pretende recolectar datos como: cantidad que produce, clientes, proveedores, vista general del ordenamiento territorial, desplazamientos del productor para realizar las labores, condiciones de trabajo, organización y condiciones de los insumos.

2. Implementación del VSM

En esta etapa, con los datos recolectados con anterioridad se procede a realizar el mapa de la cadena de valor. El propósito de este es identificar qué cosas agregan valor y cuales no al proceso, donde se presentan fallas, retrasos y desperdicios, con el fin de reconocer en que partes de la cadena deben aplicarse las diferentes herramientas de mejoramiento sin que se afecten variables importantes, tales como la productividad, los costos y el tiempo.

3. Análisis de las problemáticas presentes

En este proceso se clasifican cada una de las problemáticas encontradas en las observaciones del sistema productivo de la finca, se debe explicar detalladamente que factores influyen en la creación de estas, todo con el objeto de saber que herramienta debe usarse y como debe aplicarse en situaciones específicas, para evitar al máximo retrocesos en La mejora.

4. Aplicación de las herramientas lean

Luego de identificar los problemas específicos presentes en la cadena de producción, se procede a elegir y aplicar las herramientas lean necesarias para que los desperdicios lleguen a ser nulos. Para la elección de la herramienta a

utilizar se debe tener en cuenta las causas que provocan la falla en el sistema, con la finalidad de evitar que se conviertan en errores repetitivos que debiliten el correcto funcionamiento de la finca.

5. Verificación de la mejora

En este último se procede a evaluar todas las mejoras realizadas en la finca para reconocer mediante los indicadores, gráficos de control, entre otros medios que mejoras no están funcionando correctamente y como debe procederse para cambiar dicha situación. Además, para este proceso se dejarán planteados estándares que les permitan a los productores de la finca continuar mejorando su sistema productivo para evitar retrocesos en todos los cambios realizados.

Resultados:

Después de realizar un análisis riguroso de una finca productora de aguacates Hass en El Retiro, la cual cumple con la certificación Global G.A.P se pudo identificar lo práctico y viable que es la implementación de este conjunto de normas con herramientas muy sencillas, sin necesidad de invertir grandes cantidades de dinero. También se observó que los elementos visuales y el orden son los pilares fundamentales para el sostenimiento de la norma, lo que permite crear una relación entre lean, BPM y Global G.A.P. Además, la estandarización del proceso es lo que permite garantizar la calidad en cada uno de los aguacates Hass que produce la finca; esta estandarización se ve reflejada en las utilidades que

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN FARMING PARA PEQUEÑOS CAFICULTORES EN EL SUROESTE ANTIOQUEÑO

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Arturo Rodríguez Arroyave, Ana María Escobar López, Santiago Aguirre Martínez, Isabel Cristina Ramírez González

Resumen

Con el objetivo de contribuir al mejoramiento del sistema productivo del café, se pretende implementar las herramientas lean farming en pequeñas fincas caficultoras pertenecientes al Suroeste antioqueño. Buscando establecer una estandarización que permitan una mejor aplicabilidad de las herramientas lean en los procesos de siembra y cosecha del café, se implementaron los cinco procesos claves de la metodología lean, que consisten en: especificar claramente el valor, identificar el flujo del proceso, crear un adecuado flujo de valor, vender mediante el hale del cliente y perseguir la perfección, para contribuir al mejoramiento continuo de la pequeña finca se realizaron diferentes visitas y entrevistas con el dueño de la finca para enseñarle, el manejo adecuado de la finca según lean farming.

Palabras claves:

Esbelto, metodología, mejoramiento, procesos, café.

Introducción

Colombia ha sido reconocido a nivel mundial por su café gracias a su calidad, aroma y sabor. El Café de Colombia es la denominación que se le otorga al café 100% arábico producido en las regiones cafeteras de Colombia. (Federación Nacional de Cafeteros, 2010). En el periodo cafetero del año pasado, que culminó en octubre del 2016, las exportaciones de café arábico entre Brasil, Colombia y demás países superó los 71.93 millones de bolsas de café. Colombia sigue siendo un líder en la producción de café, no obstante,

Antioquia, a nivel departamental, es uno de sus mayores contribuidores. En específico el suroeste antioqueño.

El suroeste antioqueño, conformado por 23 municipios, persiste como región cafetera en la que se están realizando un gran número de proyectos para asistir a los pequeños caficultores de esta región, sin embargo, aún se presentan fallas en los sistemas productivos de estos pequeños caficultores, como la falta de planeación para la cosecha, fallas por temas climáticos y el exceso de desperdicio en el proceso. Este proyecto

pretende emplear la herramienta de producción lean que está enfocada a la reducción de desperdicio en el proceso productivo para contribuir a prosperidad de la cosecha de café y, a su vez, a la prosperidad de los caficultores.

Producción de café en el suroeste Antioqueño

Actualmente, el suroeste antioqueño sigue siendo un gran productor de café, destacándose tanto a nivel departamental como a nivel nacional. La gran mayoría del café producido es proveniente de pequeñas fincas caficultoras, estas son, según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, fincas que poseen menos de 5 hectáreas de cultivo de café.

Pese a que la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, en conjunto con otras entidades, han proporcionado ayudas significativas en cuanto a la tecnificación de los cultivos, aun así, una gran cantidad de fincas cafeteras no cuentan con un sistema productivo determinado que facilite la cosecha de café, aumente la productividad y mejore las condiciones de trabajo para el caficultor.

Según el Informe del Comité Departamental de Cafeteros de Antioquia del 2016, desde el 2014 hasta el 2017, el número de hectáreas de café del departamento de Antioquia han disminuido en un 8% y el número de familias cafeteras han disminuido en un 8,9%, cifras que son alarmantes para el departamento y el país, ya que mientras que estas disminuyen, la demanda de café

aumenta. Esto no es ajeno al suroeste antioqueño, ya que, en este, la disminución en cuanto a hectáreas de café ha sido del 5,9% mientras que la disminución en el número de familias cafeteras ha sido del 5,1%.

“Actualmente la productividad promedio en Antioquia es de 20 sacos por hectárea. Si bien es un buen indicador y está por encima del promedio nacional, todavía se puede lograr cafetales más productivos (producir más café sin necesidad de tener más hectáreas de tierra). Este propósito será posible si se adoptan buenas prácticas de cultivos, tales como fertilización adecuada y oportuna con base en el análisis de suelos, control oportuno de malezas, plagas y enfermedades, siembras con variedades resistentes a la roya, entre otras. Más productividad significa mayores ingresos, ya que a mayor producción y de mejor calidad, mayor café se podrá vender a mejor precio.” (Comité departamental de cafeteros de Antioquia, 2014)

La tendencia a la disminución anual de hectáreas de café y de familias cafeteras, lleva a pensar en la necesidad de búsqueda de posibles soluciones a dichas problemáticas; además las cifras e índices positivos sobre la demanda de café en el país y la influencia del suroeste antioqueño tanto a nivel departamental, como a nivel nacional, motivan a la búsqueda de mejora continua en el proceso productivo del café, tratando de aumentar la productividad, disminuir las pérdidas y riesgos.

Proceso de cosecha de café

Para lograr el éxito en el mejoramiento del sistema productivo en las fincas de pequeños caficultores, es de suma importancia conocer el proceso, por lo tanto, para el cultivo de café en Colombia se consideran las siguientes prácticas:

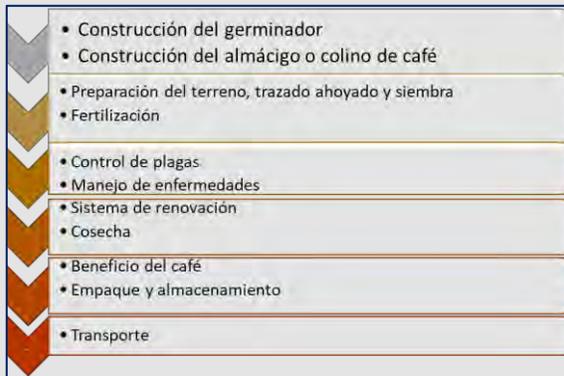


Imagen 1. proceso de cosecha del café

¿Qué es Lean?

La meta principal de la producción Lean es eliminar despiadadamente el desperdicio del sistema productivo, sea esto cualquier cosa que el cliente no valora. Se busca crear el producto con la mínima cantidad de interrupciones en el flujo de trabajo. La metodología de Lean es tan efectiva que se puede usar como medio para crecer, sin embargo, lean también se puede emplear para incrementar la utilidad y, a su vez, mantener a la finca pequeña. Los principios de Lean se enfocan en crear más valor, a diferencia de sencillamente crear más cantidad, esto es lo que permite que la metodología se adapte a la restricción de tamaño. (Hartman, 2015)

¿Cómo se aplican?

En primera instancia, para poder seguir los pasos planteados se requiere realizar una evaluación de las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema productivo, esto permite generar la línea base con la cual se medirá el desempeño del sistema permitiendo comparar la evolución de los resultados de cada labor realizada.

Luego, se debe hacer la representación de los procesos, el reconocimiento de sus características y la medición de los trabajos son una parte esencial en el análisis y posterior mejoramiento de ellos. Las herramientas permiten ir analizando los problemas de lo general a lo particular, haciendo diagramas y tomando datos, de manera de poder diagnosticar las causas de los problemas y concentrarse en aquellos aspectos cuyo mejoramiento tendrá un mayor impacto. (Cerda, Chandía, & Faúndez, 2003)

En un sentido amplio, en todo sistema o proceso productivo siempre existen pérdidas de tiempo, de materiales, de equipos, de dinero, etc. Pérdidas en este contexto, son todas aquellas cosas o esfuerzos que se utilizan pero que no son absolutamente necesarios para lograr las tareas productivas.

Un buen diseño de las instalaciones físicas y de campo tiene por objetivo optimizar el transporte y movimiento en las actividades productivas, ya sea de animales, maquinaria, forrajes, o insumos en general. Se puede aplicar tanto a nivel del diseño físico del campo como un todo (potrero, caminos, puertas, etc.) como a nivel de una instalación específica, como

puede ser un patio de alimentación, sala de ordeña, bodega, packing, entre otros. (Cerde, Chandía, & Faúndez, 2003)

Implementación de lean farming en una pequeña finca productora de café

1. Especificar precisamente el valor

En el primer proceso lo que se realiza es una búsqueda de información sobre los clientes de los pequeños caficultores y todo aquello que ellos valoran del producto final. En el caso de los pequeños caficultores, sus clientes inmediatos son las cooperativas y las agencias localizadas en las regiones cercanas. El valor que estos clientes valoran depende mucho de las características físicas y no las sensoriales, a diferencia del consumidor final. Las cooperativas tienen el deber de clasificar el café que reciben de acuerdo con su tamaño y color. Por medio de esto es que remuneran al pequeño caficultor.

Por medio del aspecto físico del grano de café, se pueden identificar varias fallas en el proceso, sea esto primordialmente, el color. El tamaño también es de suma importancia ya que los cafés dependen más de los granos más grandes que de la pasilla que se recoge en cada cosecha. El tamaño también determina si el café tiene posibilidades de ser exportado. Con la reforma de la federación de adaptarse a regulación internacional, al ampliar el espectro de tamaños aceptados se abre más posibilidad de que un caficultor reciba una mejor recompensa por su grano,

siempre y cuando cumpla con las demás condiciones de calidad.

Como se mencionó anteriormente, el proceso está directamente relacionado con los aspectos físicos, sensoriales y químicos. Por esto es necesario reconocer que lo que el cliente valora es la calidad del grano en su totalidad, enfocándose en primera instancia en el aspecto físico del grano de café.

2. Identificar el flujo de valor

Esta etapa es dedicada a conocer a fondo el proceso de cosecha de café que se realiza en pequeñas fincas cafeteras. El propósito de esta es delimitar cada movimiento, las herramientas necesarias, el tiempo y cantidades, para poder analizar con más profundidad el proceso. Para el desarrollo de esta etapa se hizo un estudio en dos fincas cafeteras del suroeste antioqueño. El proceso se comenzó en una finca en Támesis, Antioquia donde se tuvo el primer acercamiento con el proceso de café. En una segunda ocasión se visitó una finca en Andes, Antioquia donde se pudo profundizar más el conocimiento.



Imagen II. flujo de valor del proceso de café

3. Crear un flujo de valor

Las herramientas lean esta consumada en este paso, ya que, aquí es donde se identifican todos los desperdicios del proceso y se pone en acción el plan de mejoramiento. Este proceso requiere de precisión al identificar el flujo de valor, ya que, se depende de este para reconocer cada tipo de desperdicio.

En el caso de la agricultura, el flujo de valor no permite la misma flexibilidad que un producto material, donde se pueden intercambiar diferentes actividades del proceso, por esto, es que el orden del flujo de valor se mantiene igual a lo de que identificamos en el proceso anterior. A continuación, se presenta cada uno de los pasos con los desperdicios que se identificaron en él.

4. Vender mediante el hale del cliente:

Según la información hallada en el marco teórico, se puede afirmar que este es uno de los procesos que más dificultad presenta, dado que, la demanda de café arábico de Colombia va en aumento. Este proceso no va ligado a la demanda del cliente como tal, sino a la capacidad que tiene la finca para producir.

El hale del cliente afecta directamente a las empresas que les compran el café a las cooperativas, sin embargo, el pequeño caficultor del suroeste antioqueño solo se ve afectado mediante el precio al que se le paga el café. A mayor demanda de café mejor es el precio que pagan las cooperativas. Sin embargo, en épocas de cosecha como enero, mayo y noviembre, la oferta de café es muy alta, lo cual perjudica negativamente a los pequeños caficultores, dado que el precio de oferta disminuye de manera significativa.

La demanda de café en Colombia cada año aumenta, lo cual permite decir que entre más café de suma calidad se pueda producir, mejor.

Precisamente en este proceso lo que se implementó fue una constancia de todas las ventas que se hacen. Se lleva una documentación detallada de cada venta que se hace para así poder realizar una comparación de los ingresos que se obtienen al mejorar el proceso de café. El caficultor también debe estar enterado a cuanto se vende el saco de café, lo que permita que se aproveche en su totalidad el café.

5. Perseguir la perfección:

Este proceso trasciende más allá de los límites del proyecto, ya que, este paso consta de mantener y mejorar continuamente. Se le propone al caficultor a documentar cada cambio que realice en el proceso que sea para el beneficio la finca en base a las herramientas lean. La trazabilidad del proceso es lo más esencial para poder lograr un cambio notorio en el proceso productivo.

El caficultor debe continuar el proceso de acuerdo a los cambios que se generen y no recaer en las costumbres antiguas, ya que, esto no permitiría el avance de la finca cafetera. En conclusión, perseguir la perfección es únicamente hacer cambios en el proceso que beneficien al caficultor en términos de calidad, tiempo y dinero.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que en las fincas cafeteras

del suroeste antioqueño existe una multitud de oportunidades de mejora ya que estas presentan múltiples problemas en cuanto a desperdicio y organización del proceso.

El sistema productivo de las pequeñas fincas cafeteras visitadas posee en su gran mayoría problemas o inconvenientes de pequeña magnitud, los cuales pueden ser mejorados o transformados siguiendo los pasos propuestos por la metodología lean farming, logrando así fincas más productivas en términos de costos y tiempos.

La ausencia de estandarización del proceso es el factor más limitante para el mejoramiento del sistema productivo en los cultivos de café.

El principal reto para el desarrollo y mejoramiento de estas fincas es lograr que los pequeños caficultores, cambien su manera de pensar y de ejecutar los procesos que se llevan a cabo en el cultivo del café, ya que ellos siempre han estado acostumbrados a realizar sus procesos de una manera y la adaptación al cambio es uno de sus principales dificultades y retos.

La secuencia de pasos descritas anteriormente en la metodología, permiten el desarrollo correcto y óptimo de la cosecha y cultivo de café en las pequeñas fincas, ofreciéndole a los pequeños caficultores nuevas oportunidades de cambios y mejoras, creando así un flujo de valor.

Los hallazgos encontrados durante las visitas a las pequeñas fincas caficultoras evidencian y apoyan las cifras en las

cuales se basó nuestro proyecto y principalmente nuestro marco teórico.

Referencias

- Arcila P., J., Farfán V., F., Moreno B., A., Salazar G., L. F., & Hincapié G., E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0ByXf_BQviNbiZFNfVG5jLTzyV28/view
- Bradbury, J. (2017). Muda, Mura, Muri. Quality Digest. Obtenido de <http://www.qualitydigest.com/inside/lean-article/muda-mura-muri-030817.html#>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). (2016). Beneficio del Café. Obtenido de http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/beneficio
- Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ). (2016). Cultivemos café/ Sistemas de producción. Obtenido de http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/sp_renovacion
- Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé). (2011). Sistemas de producción de cafe al sol. Obtenido de http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/sp_al_sol
- Cerda, R., Chandía, A., & Faúndez, M. (2003). Gestión de Operaciones en empresas Agropecuarias. Valparaíso.
- Comité departamental de cafeteros de Antioquia. (2014). Informe de compromiso social cafetero. Medellín.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2010). El Café de Colombia. Obtenido de Cafe de Colombia:

- http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/el_cafe_de_colombia/
- Federación Nacional de Cafeteros. (febrero de 2016). Federación Nacional de Cafeteros. Recuperado el 04 de febrero de 2017, de https://www.federaciondefcafeteros.org/particulares/es/nuestro_cafe/cafes_especiales/que_son/
 - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2007). Guía ambiental para el sector cafetero. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0ByXf_BQviNbienk1MG9ubklnVWs/view
 - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (octubre de 2011). Fertilización de cafetales, clave para la productividad. PERGAMINO, información y gestión de negocios para empresarios cafeteros. Obtenido de https://www.federaciondefcafeteros.org/pergamino-fnc/index.php/comments/fertilizacion_de_cafetales_clave_para_la_productividad
 - Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2011). La calidad del café. *Cafépaisa* (245), 8-9.
 - Gobernación de Antioquia. (30 de junio de 2014). Anuario estadístico de Antioquia 2014. Recuperado el 27 de febrero de 2017, de <http://antioquia.gov.co/planeacion/ANUARIO%202014/es-CO/contenido/reporte.html?re=R08&zn=Z19&nomR=Suroeste&nomZ=Sinifan&sw=0>
 - Gobernación de Antioquia. (s.f.). Gobernación de Antioquia. Recuperado el 01 de febrero de 2017, de <http://antioquia.gov.co/index.php/antioquia/regiones/suroeste>
 - Hartman, B. (2015). *The Lean Farm*. White River Junction: Chelsea Green Publishing.
 - Puerta Quintero, G. I. (2006). Buenas prácticas agrícolas para el café. Obtenido de <http://www.cenicafe.org/es/publicaciones/avt0349.pdf>
 - Solidaridad. (2009). Buenas prácticas para la producción del café. Utrecht: Fundación solidaridad. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/0ByXf_BQviNbiYklqQnlQc2tQUjg/view

Presentado en: encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI), Universidad de Antioquia, Área de la salud, Mayo 18 – 20, 2017

METODOLOGÍA PMI APLICADA A PROYECTOS DE MANUFACTURA

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Andrés Felipe Álzate Graciano, Jorge Esteban Montoya Cano, Santiago Aguirre Martínez, Ana María Escobar López

Resumen

Al observar la falta de una metodología para realizar proyectos de manufactura se decidió establecer un flujo de procesos, basándose en la metodología proporcionada por el Project Management Institute, que garantizara el éxito de estos. El proyecto se realizó con estudiantes de la Universidad EAFIT, en la materia Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos, con la construcción de una máquina para el fresado de la madera, dividiendo este en 5 procesos claves: Inicio, Planeación, Ejecución, Monitoreo y Control, y Cierre. Cada proceso está compuesto por entregables, los cuales facilitan dicho proyecto, evitando sobrecostos, fallas y retrasos. Por medio de indicadores utilizados durante todo el desarrollo del proyecto, se demostró un éxito del 100%.

Palabras clave: metodología; entregables; proyecto

Abstract

The lack of the implementation of a methodology when carrying out projects that involve manufacturing was the primal reason for developing a series of processes that could guarantee the success of these projects. This investigation was carried out with the participation of students from EAFIT University in the course 'Elements of Machinery and Equipment', with the construction of a CNC woodmill, dividing this project in 5 key processes: Initiating, Planning, Executing, Monitoring and controlling, and Closing. Each process has different activities and deliverables that must be completed in order to avoid overrun, failures or breaches. Through the manipulation of indicators used to measure the completion standards during the development of the project, there was a success rate of 100%.

Keywords: methodology; deliverables; project

Introducción: Proyectos de Manufactura en EAFIT

La Escuela de Ingeniería de la Universidad EAFIT se ha caracterizado por brindarle servicios al sector industrial, tales como asesorías, investigación y dotación de

recursos. El pregrado de Ingeniería de Producción es uno de los que más aportes realizan a dicho sector; dentro de este, se encuentra la materia Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos, la cual es dictada durante los últimos semestres del pregrado y en la cual semestre a semestre se realiza una máquina diferente con el fin de que, primero, los estudiantes adquieran habilidades para calcular, diseñar y construir los componentes de dicha máquina, cumpliendo con las especificaciones requeridas y basándose en la Metodología PMI; y segundo, los estudiantes obtengan y apliquen conocimientos acerca de la Dirección de Proyectos.

La creación de una máquina o equipo es importante debido a que en el ámbito laboral se requieren profesionales polivalentes, diligentes, proactivos, con buen manejo de relaciones interpersonales y con buen trabajo en equipo. Cada semestre se plantea el diseño y fabricación de una nueva máquina o se le realizan cambios que implican rediseños con el fin de ir en busca de la mejora continua, la eficiencia y la eficacia. Algunas de las máquinas que se han realizado en la materia son: cortadoras de hilo, generadores eólicos, bandas transportadoras y máquinas de fresado para madera, las cuales han sido ofrecidas al sector industrial y han servido también dentro de la Universidad para realizar otros proyectos tanto de investigación como académicos.

Estado del arte

Máquinas de fresado para madera en Colombia

Observando el incremento en las ventas e importación de maquinaria con algún grado de sofisticación para la fabricación de muebles en Colombia, se afirma el interés de algunos empresarios por tener cada día industrias más eficientes, con mayor capacidad de producción y calidad para atender los mercados. En particular la máquina de fresado para madera, una herramienta universal, es reconocida en la industria no solo por su versatilidad, sino también por su funcionalidad y servicio en operaciones básicas de ebanistería y carpintería trabajando materiales como MDF, aglomerados y madera maciza. En Colombia el sector de la madera sigue siendo un proceso muy artesanal en sus mecanizados, por lo que se entiende que la documentación sobre el rol de la máquina de fresado para madera en la industria es limitada. Hasta el momento no se han establecido suficientes.

Para la Encuesta Anual Manufacturera 2011, el DANE tomó una muestra de 719 empresas fabricantes de productos de madera. A partir de esta, se dio que en Colombia se destaca el sector del mobiliario, que ocupa el quinto lugar entre los negocios con mayor número de establecimientos y el séptimo mayor generador de empleo en la industria (Revista del Mueble y la Madera, 2012). Según los datos suministrados por el DANE en el 2011, el sector maderero como tal, generó en el 4.26% de los empleos de la cadena manufacturera.

¿Qué es?

Marco de Fundamentación el Project Management Institute (PMI)

Con el ritmo acelerado de la globalización, la urbanización y las mejoras técnicas, los proyectos hoy en día resultan ser más amplios y complicados, sobre todo después de entrar en el siglo 21, el boom de los megaproyectos con un gran número de proyectos grandes y complejos, lo cual es evidente en las áreas de la aviación y espacio aéreo, aeropuertos, construcción, transporte, etc (Ma, Le, He, & Zhang, 2013) Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos.

El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto (Project Management Institute, Inc., 2013). También puede ser visto como un vehículo para poner en práctica la inversión de capital en un nuevo o un mejorado activo (Labuschagne & Brent, 2005). En un proyecto típico, muchas tareas se ejecutan simultáneamente, una con la otra. Otra característica clave de los proyectos es la existencia de relaciones de precedencia entre las tareas. Estas relaciones suelen definir las restricciones que requieren una tarea a ser completada antes de que otra comience (Hall, 2012).

La gestión de proyectos se ha convertido en una poderosa manera de integrar las funciones de las organizaciones y motivar a los grupos para alcanzar mayores niveles de rendimiento y productividad (Fernandes, Ward, & Araújo, 2015). También puede ser definida como el conocimiento, herramientas y técnicas para el control de requerimientos, configuración de un horario y alcance realista, definición de responsabilidades y gestión de expectativas (Brill, Bishop, & Walker, 2006). Ahora bien, una administración de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Se puede ver como la aplicación secuencial de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado, las capacidades se pueden almacenar y transferir con el tiempo, el espacio y el contexto. Además, la administración de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a la pérdida de conocimiento tácito almacenado en las memorias individuales (Ibert, 2004).

Ciclo de vida del proyecto

No existe ningún principio universal para la gestión de proyectos. Los expertos abogan por soluciones específicas de acuerdo con el tipo de proyectos en cuanto a la estructura de la organización, la secuencia temporal de las fases del proyecto y las herramientas utilizadas se refiere. Sin embargo, manifiestan una orientación que es, visto globalmente, el

mismo para cada tipo de proyecto (Schweyer & Haurat, 1997). De esta manera el Project Management Institute define el ciclo de vida de un proyecto es la serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. Las fases son generalmente secuenciales y sus nombres y números se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. Los proyectos varían en tamaño y complejidad. Todos los proyectos pueden configurarse dentro de la siguiente estructura genérica de ciclo de vida (Project Management Institute, Inc., 2013): Inicio del proyecto, organización y preparación, ejecución del trabajo y cierre del proyecto.

Procesos de la dirección de proyectos

La gestión de proyectos tiene por objeto garantizar, a lo largo de la vida de un proyecto, su eficiencia y eficacia. El objetivo último de la satisfacción del cliente se compone de varias categorías o grupos de procesos que interactúan entre sí, designados por los procesos de gestión de proyectos grupos (Project Management Institute, Inc., 2013), que son: Iniciación, Planificación, Ejecución, seguimiento y control, y cierre.

Aplicación del marco de fundamentación en la Universidad EAFIT

Proceso Inicio

A los estudiantes se les presentó construir una máquina de fresado para madera CNC funcional compuesta por tres ejes y una placa que soporte el material. Esta debería moverse en los ejes X, Y y Z potenciado por los motores correspondientes, con sensores de contacto en los extremos donde haya movimiento. Al establecer esto, se redactó el acta de proyecto en el cual estableció como alcance: Fabricar una máquina de fresado para madera, la cual esta destina al tratamiento de la madera, su principal función es el recorte de piezas con precisión y alta calidad, siguiendo los requerimientos previamente establecidos. Se estableció que este proyecto se llevaría a cabo a lo largo de 16 semanas, dando así una fecha límite.

Al finalizar estas semanas los estudiantes deberían entregar toda la documentación relacionada al trabajo, sean estas: Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), diagrama de Gantt, plan de adquisiciones, planos, cartas de proceso, manuales de uso de la máquina, la máquina ensamblada y funcional, al igual que la bitácora del proyecto. Todo esto sería presentado por medio de una serie de entregables a que serían desarrollados por los estudiantes en el transcurso de las 16 semanas en las fechas previamente establecidas, a través de la herramienta tecnológica de la universidad (EAFIT Interactiva).

Proceso de Planeación

Para el desarrollo de este proceso de planeación lo primero que se hizo fue realizar el plan inicial en el cual se establecieron todas las actividades necesarias para obtener el alcance que se había planteado en el proceso anterior, con el responsable de realizar esta, al igual que la fecha de inicio y de finalización. Estas actividades fueron las que se utilizaron para crear la estructura de desglose de trabajo (EDT) (ver figura 1), donde se detallaron todas labores en un orden cronológico, desde las actividades más generales hasta las más específicas. Esta proporciona una perspectiva global de todo lo que implica el proyecto, al igual que lo que se debe entregar.

Al haber establecido las actividades se procedió a utilizar un diagrama de Gantt por medio del software Microsoft Project, que permitió a los estudiantes establecer todas las actividades con los tiempos estipulados para cada una, de esta forma se pudo plantear adecuadamente el tiempo para todas las actividades en el plazo de 16 semanas. Esta herramienta, como se ilustra en la figura 2, no solo mostraba la distribución de tiempo que ellos habían planteado, sino que permitió hacer una comparación, del tiempo real de la actividad con el que se había establecido dando indicaciones de retrasos si existieron.

Seguidamente, se procedió al diseño detallado de la máquina por medio del software de modelación Solidworks (ver Figura 3), donde los estudiantes sacaron planos y cartas de proceso de cada una de

las piezas correspondientes a la máquina de fresado para madera.

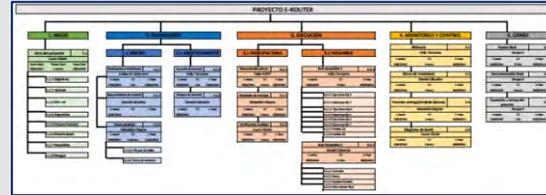


Ilustración 1. Estructura de Desglose de Trabajo.

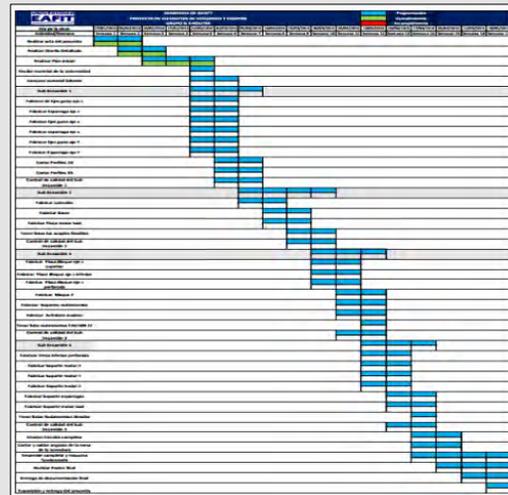


Ilustración 2. Diagrama de Gantt

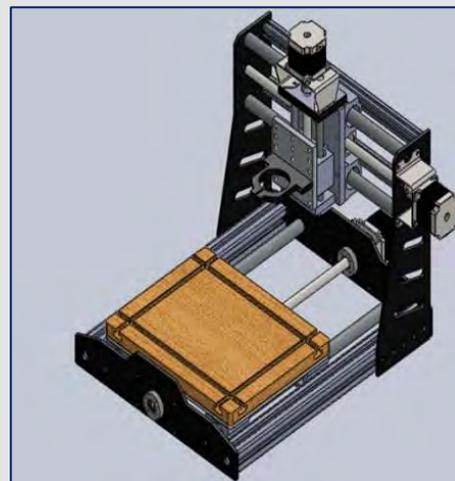


Ilustración 3. Modelación de Máquina de fresado para madera.

Proceso de Ejecución

A través del plan de adquisición se buscó obtener los mejores proveedores, que proporcionaran material de suma calidad y precio adecuado, pero que, además, estuvieran ubicados en un lugar cercano al centro de trabajo. En base a los planos y cartas de proceso que se realizaron en el diseño detallado se procedió a la fabricación de las piezas de la máquina de fresado para madera, que, en su mayoría, se fabricaron en el laboratorio de manufactura de la Universidad.

Todas las piezas de la máquina de fresado para madera se entregaron por medio de 4 subensambles que cada vez se iban ensamblando más piezas hasta obtener el producto final. En las figuras 4 y 5 se muestra el proceso de ensamble de esta.

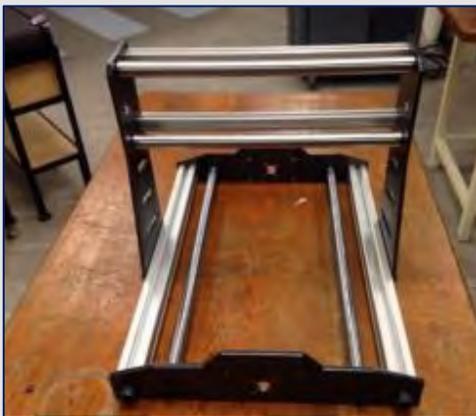


Ilustración 4. Sub-ensamble 2.



Ilustración 5. Ensamble Final

Proceso de Monitoreo y Control

Este proceso de monitoreo y control se llevó a cabo semanalmente durante toda la construcción de la máquina por medio de formatos de control que se realizaban en cada proceso. El control, permitió registrar todo cambio que se le realizara al proyecto, fuera un cambio interno, es decir por parte del equipo de trabajo, o externo, que son solicitadas por los interesados al director del proyecto. Además, en el proceso de ejecución, se realizó un formato de control dimensional en el que se especificaba el responsable de maquinar cada pieza, el estudiante que entregó la pieza y la fecha de entrega, en adición a la medición de las dimensiones de la pieza para corroborar con las dimensiones del plano.

Proceso de Cierre

El proceso de cierre da por culminado el proyecto, en este proceso se realizó una serie de pruebas funcionales, además, un análisis de todo el proyecto para comprobar el éxito de este. Los estudiantes realizaron un documento oficializando el cierre del proyecto donde

se creó una ficha técnica de la máquina de fresado para madera, en conjunto con la retroalimentación y comentarios de los estudiantes en cuanto a los procesos empleados para la realización del proyecto. También, se hizo entrega de los manuales de uso, manuales de ensamble, y la bitácora del proyecto. Finalmente se realizó la muestra de proyectos ante la comunidad Eafitense en Expoingeniería.

Conclusiones

Con la fabricación de máquinas bajo el marco de fundamentación propuesto por el PMI, se pusieron en práctica conocimientos adquiridos durante la asignatura de Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos, durante la carrera de Ingeniería de producción en general, como fundamentos de diseño mecánico, materiales y procesos de manufactura.

De manera excepcional sobresalen los tópicos de administración de riesgos como una unidad de conocimiento transversal, que, siendo monitoreada y gestionada de manera creativa por los equipos de estudiantes, resulta vital para el logro de los objetivos de los proyectos.

Finalmente, se recomienda la utilización de una herramienta tecnológica que permita gestionar y documentar el proyecto a través de un solo repositorio de archivos que sea de fácil acceso para el momento de realizar las consultas y validaciones. Para la mejora del proceso actual es importante considerar la utilización de una nomenclatura estándar para formatos, registros y documentación en general, la cual que ayude en la

búsqueda, localización y edición de los referentes relacionados al proyecto, esto con el fin de facilitar la gestión documental y el manejo de archivos históricos que brinden diferentes fuentes de información a proyectos futuros de manufactura.

Referencias

- Brill, J. M., Bishop, M. J., & Walker, A. E. (2006). The Competencies and Characteristics Required of an Effective Project Manager: A Web-Based Delphi Study. *Educational Technology Research and Development*, 54(2).
- Fernandes, G., Ward, S., & Araújo, M. (2015). Improving and embedding project management practice in organisations — A qualitative study. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1052-1067.
- Ibert, O. (2004). Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology. *Research Policy*, 33(10), 1529-1546.
- Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2005). Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management*, 23(2), 159-168.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2015). Análisis del Sector. Ministerio de Defensa Nacional Agencia Logística de las Fuerzas Militares. Recuperado a partir de <https://www.agencialogistica.gov.co/index.php?idcategoria=494084&download=Y>
- Navas, H. V. G., Tenera, A. M. B. R., & Machado, V. A. C. (2015). Integrating TRIZ in

Project Management Processes: An ARIZ Contribution. *Procedia Engineering*, 131, 224-231.

- Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía del PMBOK*. Newtown Square, Pensilvania.

- *Revista del Mueble y la Madera*. (2012). 20 datos Económicos del Mueble y la

Madera. Recuperado 5 de mayo de 2016, a partir de http://www.revista-mm.com/ediciones/rev81/20_datos_economicos.pdf

- Schweyer, B., & Haurat, A. (1997). Information system design using a project approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(1).

Presentado en: Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI, Cartagena de indias, octubre 4 – 7, 2016

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE AEROGENERADORES EN PROYECTOS ACADÉMICOS DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN BAJO EL MARCO DE FUNDAMENTACIÓN DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI)

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Alberto Lopéz Cañas, Jorge Esteban Montoya Cano, Andrés Felipe Álzate Graciano

Resumen:

El reto de diseñar y construir maquinaria que se ajuste a los procesos productivos dentro de las organizaciones es un desafío que deben asumir de manera continua las áreas de ingeniería. El curso de proyecto de Elementos de Máquinas de la Universidad EAFIT es la forma con la cual se prepara al estudiante a asumir este reto dentro un marco metodológico definido bajo el cual puedan orientar sus esfuerzos a la creación de valor como resultado de la integración del recurso humano y conocimiento soportado por tecnología. En este caso de estudio en particular se presentan los resultados de proyectos para los cuales se han desarrollado y construido un aerogenerador bajo el enfoque del marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI) detallando el alcance, presupuesto, recursos, fases, tareas clave transformándose en el logro de un prototipo funcional que han sido alcanzados con cronogramas cortos no mayores a 16 semanas. Además, en el presente artículo se demuestra como el marco de fundamentación del PMI, ayuda a transferir herramientas y fortalezas dentro del campo de proyectos en ingeniería que puedan ser utilizadas por ingenieros experimentados en el desarrollo de máquinas para procesos industriales dentro de sistemas productivos complejos.

Palabras Clave: Proyectos de máquinas, *Project Management Institute (PMI)*, Marco de fundamentación de proyectos, Elementos de Máquinas y Equipo.

Abstract:

The challenge of design and build machinery that fits to productive processes inside companies is a defiance that must be assume continuously by engineering areas. The project of elements of machines from EAFIT University is a way in which the student is prepared to assume this challenge within a methodological framework in which they can direct their efforts to the creation of value as a result of the involvement of human resources and knowledge supported by technology. In this particular study case is shown the results of projects which have been built a wind turbine under the framework approach of the Project Management Institute (PMI) detailing a specific scope, budget, resources, phases, key tasks becoming the achievement of a functional prototype that is released to different areas of the university with short schedules that not exceed 16 weeks. Furthermore, in this article it demonstrates how the framework approach of the PMI, helps in the transfer of tools and skills in the field of engineering projects that can be used by experienced engineers in the development of machines for industrial processes in production complex systems.

Keywords: Projects in machines, Project Management Institute (PMI), context of justification of projects, elements of machines and equipment.

1. Introducción

1.1. Proyectos de manufactura en Colombia

Actualmente, la industria manufacturera colombiana no cuenta con una metodología en el cual el diseño en ingeniería se interrelacione constantemente con la teoría administrativa a través de todo el ciclo de vida de fabricación de equipos y que garantice que, un proyecto de manufactura desde la concepción de la idea hasta la fabricación de la respectiva máquina termine con una alta confiabilidad, cumpliendo con los requisitos funcionales dentro del cronograma, presupuesto y alcance pactado.

Ahora, este tipo de proyectos por sus condiciones requieren de una minuciosa y correcta gestión, es aquí donde la gestión de proyectos de diseño y fabricación de máquinas se basa en la metodología de PMI (Project Management Institute), que pretende desarrollar un método estructurado, acompañando todas las fases del proyecto desde el levantamiento de requisitos hasta su puesta en producción, garantizando así, la generación de valor de manera sostenible por parte de la industria, trazabilidad durante el proceso de diseño-fabricación e integración.

Puesto que las empresas invierten gran cantidad de recursos para reducir la probabilidad de fracaso de sus proyectos de manufactura, en el presente proyecto se pretende estudiar una solución a este problema que se encuentra en términos de

diseño de máquinas y equipos, que ayuden a soportar la operación de la organización en términos de tiempo y costo cumpliendo los requerimientos presentados por los sistemas productivos.

Así pues, la definición de proyectos de manufactura planeado y ejecutado bajo la metodología de gestión de proyectos del PMI, surge como una propuesta de solución que busca garantizar el éxito de estos esfuerzos, minimizando el riesgo de sobrecostos y finalización del proyecto después del cronograma pactado.

1.2. La energía eléctrica en Colombia

En Colombia la producción de energía eléctrica es generada en su mayoría por fuentes hídricas y pese a tener abundancia, es indispensable pensar en explotar otros recursos que resulten más económicos y renovables, tanto para la empresa generadora como para el consumidor final de los servicios energéticos, además muestra topografía y algunos problemas de seguridad pública impiden llegar el suministro a muchas regiones del país.

Por este motivo surge la idea de busca una fuente de energía limpia y renovable que ayude a mitigar estos problemas, sobre todo en poblaciones rurales y de alta montaña, que si bien no cuentan con corrientes de aire muy intensas como en zonas costeras; también se podría aprovechar esta energía electromecánica obtenida de la transformación eólica con un diseño de aerogenerador eficiente y de buen rendimiento que produjera energía suficiente para suplir las necesidades

básicas de una familia promedio, gracias a la utilización de un recurso inagotable, limpio, sustentable y al menor costo posible. Es a esto a lo que desde la materia de Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos en el departamento de Ingeniería de Producción de la Universidad EAFIT se le está apuntando, generando soluciones a problemas de primer nivel bajo los lineamientos del marco de fundamentación del PMI, que garanticen el alcance del proyecto, el costo y el calendario previamente pactado.

1.3. La energía eólica en el Mundo

Mirando el futuro de la humanidad, los principales esfuerzos se dedican a la búsqueda de vías para el desarrollo sostenible. Para ello, se requiere de energía en cantidades mucho mayores que las reservas disponibles en la actualidad, que se basan principalmente en los combustibles fósiles. Por lo tanto, es vital para evaluar y conservar los recursos disponibles, para consolidar la viabilidad económica de tecnologías renovables subdesarrolladas, y la búsqueda de nuevos métodos de recolección de energía, conversión, almacenamiento, ahorro y uso. Todos deben ser eficientes, renovables y respetuosos del medio ambiente (Traversa & Idriss, 2012). La energía eólica proporciona una opción respetuosa del medio ambiente para la seguridad energética en momentos en que la disminución de las reservas de combustibles fósiles amenaza el desarrollo sostenible a largo plazo de la economía (P. Zhang & Huang, 2011), siendo

considerada como una potencial fuente de energía limpia en todo el mundo (Teodorescu, Liserre, & Rodriguez, 2011). Así, los aerogeneradores son aquellos que convierten la energía cinética presente en el viento en energía mecánica en electricidad (Tummala, Velamati, Sinha, Indraj, & Krishna, 2016).

La determinación de los beneficios económicos de la industria de la energía eólica depende principalmente de una serie de factores tales como la inversión original, costo operacional, horas efectivas equivalentes por año y en la tarifa de alimentación (Z. Zhang, 2010). Existen diferentes análisis del potencial de generación de energía, configuración de paso controlado y costos, realizados en diferentes partes del mundo como en China (Tan et al., 2013) (Lin, Tu, Liu, & Li, 2016), Nigeria (Ajayi, Fagbenle, Katende, Aasa, & Okeniyi, 2013) (Ohunakin, Oyewola, & Adaramola, 2013) y Europa (Barstad, Sorteberg, & Mesquita, 2012) (Cradden, Harrison, & Chick, 2012).

En los últimos años, la energía eólica ha experimentado un rápido desarrollo en China. La capacidad instalada de energía eólica alcanzó 47 GW a finales de 2011 y se espera llegar a 150 GW en 2020. Con el rápido desarrollo de la energía eólica, la penetración de su uso es cada vez mayor (Li, Qin, Wang, Li, & Chen, 2013). Varios países, con el fin de satisfacer su demanda creciente de energía con la instalación de grandes parques eólicos de escala tanto en tierra como en costa. En 2014, China tiene una capacidad instalada de alrededor de 114.609 MW de energía eólica contribuye 31,0% de la potencia eólica total, seguido de EE.UU., Alemania, España y la

India, que producen 65.879 MW, 39.165 MW, 22.987 MW y 22.465, respectivamente, como se muestra en la Fig 1. (Global Statistics, 2014).

De esta manera la Universidad EAFIT, desde el departamento de Ingeniería de Producción, con el fin de retomar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y enfocando la realización de una maquina desde una perspectiva más amplia, comprendiendo la importancia de las variables de un proyecto en el entorno global de las máquinas y herramientas, los sistemas de producción, conociendo los principales tipos de máquinas en nuestro entorno y entendiendo una de las principales fuentes de energía renovable se procedió a la fabricación de un aerogenerador por parte de los estudiantes cursantes de la materia Elementos de Máquinas y Equipos.

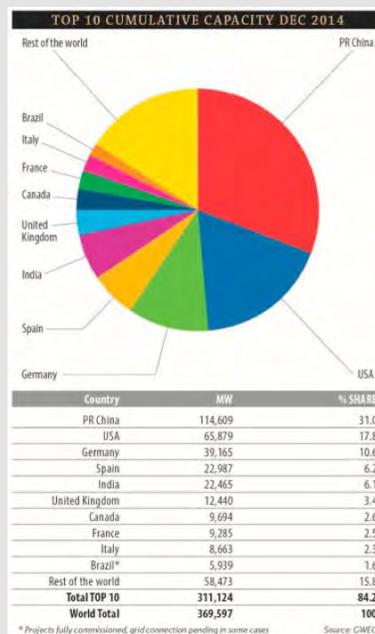


Figura 1. Mayor capacidad instalada acumulada en 2014 (Global Statistics, 2014).

1.4. Marco de fundamentación del Project Management Institute

La gestión de proyectos se ha convertido en una poderosa manera de integrar las funciones de las organizaciones y motivar a los grupos para alcanzar mayores niveles de rendimiento y productividad (Fernandes, Ward, & Araújo, 2015). También puede ser definida como el conocimiento, herramientas y técnicas para el control de requerimientos, configuración de un horario y alcance realista, definición de responsabilidades y gestión de expectativas (Brill, Bishop, & Walker, 2006).

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto (Project Management Institute, Inc., 2013). También puede ser visto como un vehículo para poner en práctica la inversión de capital en un nuevo o un mejorado activo (Labuschagne & Brent, 2005).

En un proyecto típico, muchas tareas se ejecutan simultáneamente, una con la otra. Otra característica clave de los proyectos es la existencia de relaciones de precedencia entre las tareas. Estas relaciones suelen definir las restricciones que requieren una tarea a ser completada antes de que otra comience (Hall, 2012).

La metodología de administración de proyectos es un enfoque estructurado compuesto por un conjunto de procesos con actividades claramente definidas destinadas a la ejecución de proyectos (Terlizzi, Meirelles, & de Moraes, 2016). Ahora bien, una administración de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Se puede ver como la aplicación secuencial de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado, las capacidades se pueden almacenar y transferir con el tiempo, el espacio y el contexto. Además, la administración de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a la pérdida de conocimiento tácito almacenado en las memorias individuales (Ibert, 2004).

En el caso del proyecto del aerogenerador bajo el marco de fundamentación del PMI, se utilizó la metodología en cascada, la cual se define como una secuencia de actividades a ser seguidas en orden, donde la estrategia principal es definir y seguir el progreso del desarrollo del proyecto hacia puntos de revisión bien definidos, es decir, se avanza en la realización del proyecto y se reparan los errores; es un proceso de continuo de realización y reparación. Dentro de las principales características del método en cascada se encuentran:

- Es lineal,
- Las actividades se encuentran relacionadas secuencialmente,
- Cada etapa tiene una entrada y una salida,

- Es rígido y sistemático: La entrada de una actividad es la salida de la etapa anterior, por lo cual no se puede dar inicio a la siguiente fase.
- Es monolítico: Existe una única fecha de entrega.

En la figura 2 se presentan las herramientas utilizadas del marco de la dirección de proyectos en el proyecto de construcción del aerogenerador.

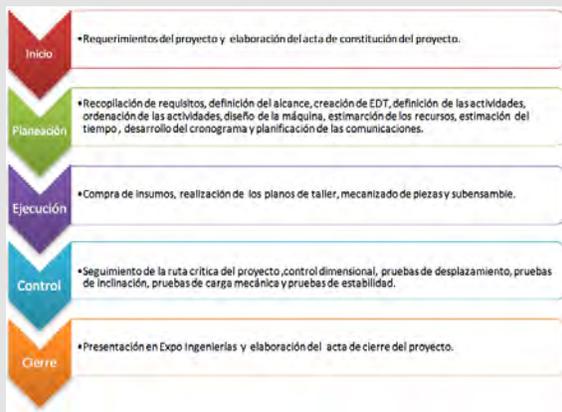


Figura 2. Herramientas del marco de la dirección de proyectos.

2. aplicación del marco de fundamentación en aerogenerador

2.1. Proceso de inicio

Como requisito para los estudiantes que participaron en la fabricación del aerogenerador se les presentó construir un aerogenerador capaz de convertir energía eólica en energía eléctrica por medio de un modelo a bajo costo, con formas y dimensiones establecidas por los mismos estudiantes.

De esta manera se redactó el acta del proyecto que tenía como alcance: El proyecto llegará hasta que se halla

construido un aerogenerador con los requisitos funcionales mencionados anteriormente y que posterior a esto pase satisfactoriamente unas pruebas funcionales que serán realizadas por el director del proyecto. Una vez se llegue a este punto el proyecto se dará por terminado. Cabe resaltar que el alcance del proyecto tiene una fecha límite que se debe respetar.

Esta fecha límite se estableció en un periodo de realización del proyecto de 16 semanas, en las que al finalizar estas, los estudiantes deberían entregar toda la documentación referente al trabajo tales como, acta del proyecto, EDT del proyecto, diagrama de Gantt, planes de administración de comunicaciones, adquisiciones, mitigación y contingencia, planos, cartas de proceso y manuales de seguridad, uso, ensamble de máquina y bitácora del proyecto, todo esto a través de la herramienta tecnológica de la universidad (EAFIT Interactiva) la que permitió gestionar los entregables en las fechas pactadas.

2.2. Proceso de planeación

El primer paso en el proceso de planeación consistió en planificar la gestión del alcance a través de la recopilación de requisitos funcionales, no funcionales y técnicos. Posteriormente, se definió el alcance, desarrollando una descripción detallada del proyecto y del producto, especificando los límites del producto mediante la explicación de los requisitos recopilados que fueron incluidos y los que fueron excluidos en el alcance del proyecto. Seguidamente se creó la

Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) (ver figura 3), subdividiendo los entregables del proyecto en componentes más pequeños, proporcionando una visión estructurada de lo que se debía entregar. De esta manera se definieron las actividades necesarias para realizar cada uno de los entregables y se continuó secuenciando las actividades.



Figura 3. EDT del proyecto

De esta forma se procedió al diseño de la máquina, realizando sus respectivas pruebas de resistencia y mecanizado a través de la herramienta tecnológica Solidworks (ver figura 4), posteriormente se procedió a estimar los recursos, la duración y desarrollar el cronograma, dando como resultado el diagrama de Gantt (ver figura 5) a través del software Microsoft Project.



Figura 4. Modelación 3D en Solidworks

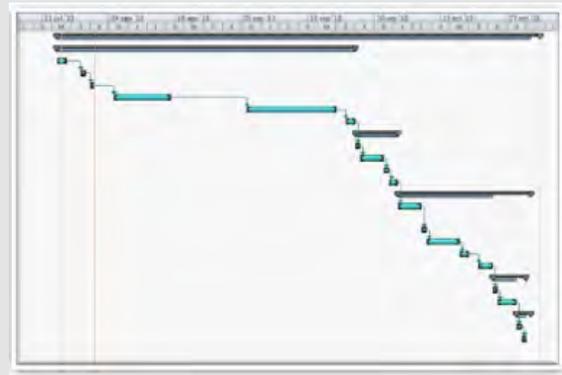


Figura 5. Diagrama de Gantt

2.3. Proceso de ejecución

Con el plan de adquisiciones, que busca obtener los proveedores de mejor calidad y precio, ubicados estratégicamente en un lugar cercano al centro de trabajo se procedió a la fabricación y ensamble del aerogenerador iniciando con el diseño detallado, la realización de los planos de taller, los cuales contienen la información de mecanizado.

Luego se procedió al mecanizado de las piezas, la mayoría de estas fueron mecanizadas en los laboratorios de manufactura de la universidad para realizar así el ensamble estructural del aerogenerador. En la Figura 6 y 7 se observa el proceso de fabricación del aerogenerador, las piezas fabricadas en los laboratorios, el proceso de ensamble y el acabado final del producto.



Figura 6. Proceso de fabricación del aerogenerador

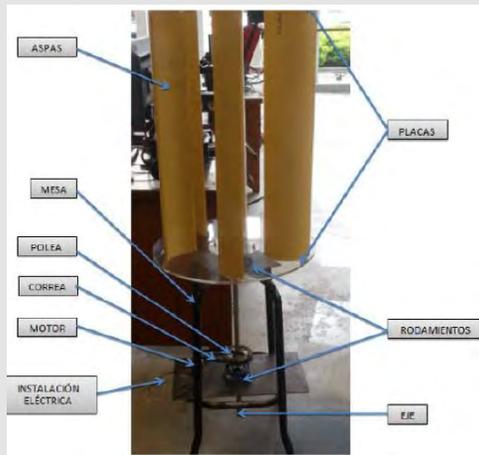


Figura 7. Aerogenerador

2.4. Proceso de monitoreo y control

La ruta crítica es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto y determina la menor duración posible del mismo (Lechler, Ronen, & Stohr, 2005), así se garantizó que esta secuencia de actividades fuera realizadas dentro del cronograma pactado para evitar retrasos y reprocesos.

El control, se realizó por medio de un seguimiento semanal y entregas de avances, que permitieron observar el desarrollo y el estado actual en que se encontraba el proyecto; además se pudo realizar acciones correctivas o de mejora,

que permitieron cumplir con los objetivos del proyecto.

2.5. Proceso de cierre

En cuanto al proceso de cierre, se realizó un proceso de experimentación y análisis, para luego comprobar el éxito del proyecto y se generó un informe gerencial dirigido a los interesados, para que evaluaran los resultados del mismo. Finalmente, se expuso el proyecto en la feria "EXPO-INGENIERÍA", realizada, en la universidad EAFIT al finalizar el semestre.

También se hizo entrega por parte de los estudiantes de los diferentes manuales para la correcta utilización de la máquina, como son el manual de, manual de ensamble de la máquina y la bitácora del proyecto, permitiendo así documentación para futuros nuevos proyectos de este tipo. Finalmente se realizó el acta de cierre con la que se dio por concluido el proyecto

3. Conclusiones

Con la fabricación de máquinas bajo el marco de fundamentación propuesto por el PMI, se pusieron en práctica conocimientos adquiridos durante la materia Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos y durante la carrera de Ingeniería de producción en general, como fundamentos de diseño mecánico, materiales, procesos de manufactura.

Se establecieron estructuras de diseño basadas en entradas de detalle, permitiendo representar todos los componentes del aerogenerador en conjunto como un producto donde se analiza el cumplimiento de

especificaciones que cumplan con las exigencias del cliente y estandarizando el proceso de su fabricación.

Fue posible establecer un tipo de aerogenerador que cumpliera con parámetros básicos establecidos para su diseño y desarrollo, tales como, fácil fabricación, asequible a todo tipo de personas como alternativa de obtención de energía de una forma ecológica y duradera, materiales que puedan soportar a la intemperie cambios climáticos por un periodo largo de tiempo sin afectar su función principal y de bajo costo en mantenimiento y producción.

Finalmente se recomienda la utilización de una herramienta tecnológica que permita gestionar y documentar el proyecto a través de un solo software independiente de la ubicación geográfica de los actores del proyecto en tiempo real, ya que para este proyecto se utilizaron diferentes softwares (EAFIT Interactiva, Microsoft Project y Solidworks 2013) por lo que la información no quedaba centralizada dificultando el acceso a esta.

Referencias

Ajayi, O. O., Fagbenle, R. O., Katende, J., Aasa, S. A., & Okeniyi, J. O. (2013). Wind profile characteristics and turbine performance analysis in Kano, north-western Nigeria. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1-15. <http://doi.org/10.1186/2251-6832-4-27>

Barstad, I., Sorteberg, A., & Mesquita, M. dos-Santos. (2012). Present and future offshore wind power potential in northern

Europe based on downscaled global climate runs with adjusted SST and sea ice cover. *Renewable Energy*, 44, 398-405.

<http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.008>

Brill, J. M., Bishop, M. J., & Walker, A. E. (2006). The Competencies and Characteristics Required of an Effective Project Manager: A Web-Based Delphi Study. *Educational Technology Research and Development*, 54(2), 115-140. <http://doi.org/10.1007/s11423-006-8251-y>

Cradden, L. C., Harrison, G. P., & Chick, J. P. (2012). Will climate change impact on wind power development in the UK? *Climatic Change*, 115(3-4), 837-852. <http://doi.org/10.1007/s10584-012-0486-5>

Fernandes, G., Ward, S., & Araújo, M. (2015). Improving and embedding project management practice in organisations — A qualitative study. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1052-1067. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.01>

Global Statistics. (2014). GLOBAL STATISTICS - GWEC. Recuperado a partir de <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>

Ibert, O. (2004). Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology. *Research Policy*, 33(10), 1529-1546. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2004.08.010>

Lechler, T. G., Ronen, B., & Stohr, E. A. (2005). Critical Chain - A New Project Management Paradigm or Old Wine in New Bottles.pdf. Recuperado el 13 de febrero de 2016, a partir de <http://www.boazronen.org/PDF/Critical%20Chain%20>

%20A%20New%20Project%20Managemen
t%20Paradigm%20or%20Old%20Wine%20i
n%20New%20Bottles.pdf

Lin, Y., Tu, L., Liu, H., & Li, W. (2016). Fault analysis of wind turbines in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 482–490. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.149>

Li, S., Qin, S., Wang, R., Li, Q., & Chen, C. (2013). Study on grid adaptability testing methodology for wind turbines. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 1(1), 81–87. <http://doi.org/10.1007/s40565-013-0008-0>

Ohunakin, O. S., Oyewola, O. M., & Adaramola, M. S. (2013). Economic analysis of wind energy conversion systems using levelized cost of electricity and present value cost methods in Nigeria. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1–8. <http://doi.org/10.1186/2251-6832-4-2>

Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía del PMBOK*. Newtown Square, Pensilvania.

Tan, Z., Ngan, H. W., Wu, Y., Zhang, H., Song, Y., & Yu, C. (2013). Potential and policy issues for sustainable development of wind power in China. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 1(3), 204–215. <http://doi.org/10.1007/s40565-013-0037-8>

Teodorescu, R., Liserre, M., & Rodriguez, P. (2011). *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*. John Wiley & Sons.

Terlizzi, M. A., Meirelles, F. de S., & de Moraes, H. R. O. C. (2016). Barriers to the use of an IT Project Management Methodology in a large financial institution. *International Journal of Project Management*, 34(3), 467–479. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.12.00>

Traversa, E., & Idriss, H. (2012). Materials for Renewable and Sustainable Energy provides the connection between materials, energy, and sustainability. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 1(1), 1–2. <http://doi.org/10.1007/s40243-012-0002-x>

Tummala, A., Velamati, R. K., Sinha, D. K., Indrāja, V., & Krishna, V. H. (2016). A review on small scale wind turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1351–1371. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>

Zhang, P., & Huang, S. (2011). Review of aeroelasticity for wind turbine: Current status, research focus and future perspectives. *Frontiers in Energy*, 5(4), 419–434. <http://doi.org/10.1007/s11708-011-0166-6>

Zhang, Z. (2010). China in the transition to a low-carbon economy. *Energy Policy*, 38(11), 6638–6653. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.034>

IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO DE MOLDES DE INYECCIÓN APOYADA EN HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO (PLM)

Ricardo Mejía Gutiérrez, Carlos Mario Echeverri Cartagena, Jorge Esteban Montoya Cano, Andrés Felipe Alzate Graciano.

Resumen:

En la industria de inyección de plástico, el molde es un componente crítico que impacta directamente en la calidad y la rentabilidad del proceso. Un molde de inyección en mal estado genera situaciones como: baja productividad, re-proceso de productos, desperdicio de materia prima y daños en las máquinas de inyección. Por esta razón el proceso de mantenimiento de moldes es crítico para minimizar estos problemas que conducen a la obtención de productos de baja calidad, que es uno de los principales motivos de reclamos, pérdida de clientes y de mercados. La ausencia de procedimientos y metodologías de mantenimiento, juega un papel importante pues la falta estandarización hace que se incurra en ineficiencia, pérdida de tiempo y baja productividad. En el presente proyecto se analizó el proceso de mantenimiento y se propone un modelo estandarizado, documentado y automatizado, el cual se desarrolló y validó a través de cuatro casos de estudio en una empresa local. Dichos casos se realizaron variando el enfoque metodológico con el fin de evaluar la evolución de los indicadores y poder inferir la causa a través de la variación del proceso. La metodología se desarrolla a través de diferentes escenarios: i) mantenimiento sin un orden o cronología alguna. ii) Mantenimiento con un orden predeterminado. iii) Mantenimiento con una propuesta metodológica estructurada y mejor documentada y donde se presentan mejoras luego de analizar el escenario anterior. iv) Mantenimiento implementando PLM. Así pues, se logró evidenciar la reducción en los tiempos de mantenimiento, una mejora en la calidad y reducción en los costos de mantenimiento.

Palabras clave: Implementación de sistemas de PLM; Mantenimiento de moldes; Modelación de procesos; Product Lifecycle Management (PLM).

Abstract:

In the industry of plastic injection mould is a critical component that impacts directly on the quality and the profitability of the process. A bad injection mould creates situations such as: low productivity, re-proceso of products, waste of raw materials and damage to the injection machines. By this reason the process of maintenance of moulds is critical to minimize these problems that lead to the obtaining of products of low quality, that is one of the main reasons of claims, loss of customers and of markets. The absence of procedures and methodologies of maintenance, plays a role important as it lack standardization makes that is incurred in inefficiency, loss of time and low productivity. In the present project is analyzed the process of maintenance and is proposing a model standardized, documented and automated, which is developed and validated through four cases of study in a company local. Such cases is conducted varying the approach methodological to evaluate the evolution of them indicators and to infer the cause through the variation of the process. (The methodology is developed through different scenarios: i) maintenance without an order or chronology any. (ii) maintenance with a predetermined order. (iii) maintenance with a proposed methodological structured and best documented and where is presented improvements after analyzing the scenario above. (iv) maintenance implementing PLM. As well as, is managed to demonstrate the reduction in them times of maintenance, an improves in it quality and reduction in them costs of maintenance.

Keywords: implementation of PLM systems; Maintenance of moulds; Modeling of processes; Product Lifecycle Management (PLM).

Introducción

La producción de bienes industriales requiere de la fabricación de partes discretas. La fabricación de casi todas las partes discretas producidas en masa requiere moldes que se utilizan en el proceso de producción. A comparación de la máquina, el molde puede representar una menor inversión a comparación con el valor total de un programa de producción, sin embargo, es crucial, al igual que la máquina, en la determinación de los plazos de entrega, calidad y costo de las partes discretas (Altan, Lilly, Yen, & Altan, 2001).

La fabricación de los moldes de inyección se beneficia de las metodologías y

procesos como la inyección, fundición, moldeado, laminado, forjado, extrusión y demás metodologías y procesos existentes, las cuales están apoyadas con el uso de tecnología de punta como las máquinas de control numérico CNC [5], software de sistemas CAD [6]/CAM [7]/CAE [8], técnicas de digitalización y sistemas avanzados de metrología. No es el caso de los procesos de mantenimiento y reparación de moldes, aunque existen las herramientas tecnológicas, no hay metodologías establecidas para el desarrollo de un proceso de mantenimiento y reparación.

De este modo es importante para la industria maximizar el tiempo de vida de

los moldes de inyección, por eso resulta importante tener un buen programa de mantenimiento de moldes, ya que es una ventaja competitiva representado en la reducción de costos y tiempos de producción en las empresas.

2. Metodología

El enfoque tradicional para el modelado de procesos es modelar el proceso basado en una estructura, el comportamiento y la descripción funcional de una empresa; es decir, el modelado de la perspectiva centralizada recogida de información sobre las actividades, las condiciones, las rutas de control, objetos, papeles y artefactos junto con reglas y limitaciones internas (Czopik, Košinár, Štolfa, & Štolfa, 2014).

A continuación, se describe la serie de metodologías desarrolladas en el transcurso del proyecto para lograr la formalización del proceso de mantenimiento de moldes de inyección, estas metodologías describen como este proceso paso de ser un proceso el cual no se tenía documentación alguna, siendo así un proceso carente de indicadores lo que lo hace un proceso difícil de controlar, a finalmente ser un proceso considerablemente estandarizado, para así disminuir su variabilidad. Involucrando a su vez a todos los actores que intervienen a lo largo de este, para esto, a continuación, se da una breve descripción de las metodologías implementadas.

Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento de moldes de inyección es un proceso sobre el cual no existe, en el medio, protocolos de estandarización abiertos al público, esto lleva a un

mantenimiento sin metodología, o simplemente al mantenimiento de este en el momento de la reparación.

De acuerdo con Cugini, el proceso AS-IS consiste en dos fases, se analiza primeramente recogiendo el conocimiento a través de entrevistas con los expertos del proceso, durante esta actividad el conocimiento acerca del producto y el proceso es adquirido y formalizado. Esto permite la identificación de los problemas del proceso, llevando a posibles mejoras. La siguiente fase, consiste en modelar el nuevo proceso implementando soluciones tecnológicas, el objetivo principal de esta fase consiste en permitir a los operarios destacar los avances y los cambios del proceso, y evaluar los nuevos escenarios del proceso (Cugini, Ramelli, Rizzi, & Ugolotti, 2006).

Luego de entender "cómo" funciona el proceso, se construye el modelo "TO-BE", que representa las alternativas de mejora mencionadas en el "AS-IS", es importante asegurar que el modelo "TO-BE" es considerado dentro del contexto real de la cadena de valor (Monteleone, 2010).

El objetivo de la fase TO-BE es producir una o más alternativas a la situación actual, que satisfagan los objetivos estratégicos de la empresa. El primero paso en esta fase es la evaluación comparativa. Luego de identificar las posibles mejoras a los procesos existentes, el desarrollo del modelo TO-BE hace uso de los distintos métodos de modelación disponible, esto teniendo en cuenta los principios de diseño de proceso (Muthu, Whitman, & Cheraghi, 1999).

Product Lifecycle Management (PLM) es un enfoque integrado, basado en la información integrado por las personas, los procesos/prácticas, y la tecnología en todos los aspectos de la vida del producto, desde su diseño hasta la fabricación, distribución y mantenimiento. Que culmina con la remoción del producto del servicio y disposición final. Para la transferencia de la información del producto acerca de la pérdida de tiempo, energía y material a través de toda la organización y en la cadena de suministro, PLM conduce a la próxima generación de pensamiento lean (Grieves, 2005). A su vez, PLM puede definirse como un método controlado que permite a las empresas manufactureras gestionar sus productos a través de su ciclo de vida, desde la idea del producto hasta el final de su vida. PLM es una extensión de PDM y representa el enlace faltante entre CAD, manufactura digital y simulación. Representa el mundo virtual y las interfaces con Enterprise Resource Planning (ERP) que soporta el lado físico de la fabricación moderna a lo largo de la cadena de suministro (Alemanni, Destefanis, & Vezzetti, 2010).

La ausencia de procedimientos y metodologías de mantenimiento de moldes de inyección, aumenta la ineficiencia por parte de las empresas, como consecuencia se genera mayores costos, pérdida de tiempo y baja producción. Un molde en mal estado genera situaciones como: baja producción, re-proceso de productos, desperdicio de materia prima y daños en las máquinas de inyección. Lo anterior se ve reflejado en la producción de mercancías de baja calidad, principal motivo de reclamos, pérdida de clientes y de mercados.

2.1. Sin metodología

Se entrega el molde. Al hacerse el mantenimiento de un molde sin aplicar ningún método se pierde la noción del orden y la cronología de cómo se debe realizar un mantenimiento a un molde de inyección de una manera correcta, esto a través de pasos y prácticas que se llevan a cabo durante el proceso de mantenimiento.

2.2. AS-IS

Se obtiene una serie actividades secuenciales para el desarrollo del mantenimiento. Al hacerse el mantenimiento de un molde con la metodología AS-IS, se mejora el proceso y sus pasos, en comparación al mantenimiento sin método, dado que se lleva un orden predeterminado por medio de un modelo de proceso que lo estandariza, mejorando la calidad del mismo.



Figura 1. Metodología AS-IS.

2.3. TO-BE

La metodología de mantenimiento TO-BE permite tener un mayor control del proceso de mantenimiento de moldes ya que se define un responsable del proceso, a su vez establece una serie de actividades requeridas antes de que el molde pueda ser promovido al siguiente paso, minimizando la probabilidad de omisión de alguna actividad requerida en el proceso de mantenimiento. La documentación permite un mayor control del

mantenimiento, disminuyendo así la variabilidad de proceso.



Figura 2. Metodología TO-BE

2.4. PLM

Este modelo orientado a procesos permite definir con certeza el "qué", "quién", "cómo" y "cuándo" se debe llevar a cabo cada una de las actividades que conforman un proceso determinado y establecer con claridad el tipo de información requerida a lo largo del mismo, de forma tal que su contenido asegure un enfoque coherente (Ruiz Arenas, 2012). Permite así la completa administración, ejecución y control del proceso.



Figura 3. Metodología PLM

3. Implementación

El desarrollo de la estrategia PLM inicia con la estandarización de procesos y documentos. Este modelo orientado a procesos permite definir con certeza el "qué", "quién", "cómo" y "cuándo" se debe

llevar a cabo cada una de las actividades que conforman un proceso determinado y establecer con claridad el tipo de información requerida a lo largo del mismo, de forma tal que su contenido asegure un enfoque coherente (Mejía Gutiérrez, Correa Vélez, Ruiz Arenas, Cálad Álvarez, & Méjia Zapata, 2010).

3.1. Documentación

El proceso de documentación se alinea con el estándar ISO 9000, el cual se divide en 5 niveles básicos:

Manual de proceso: Es una declaración donde se definen los objetivos, metas y propósitos de un proceso determinado. Es el lineamiento general de la estrategia que le permite a todos los miembros de la compañía mantener el enfoque establecido a través de ésta.

- Procesos: Define en detalle qué se debe hacer, quien lo debe hacer, cuándo y dónde. Establece todas las condiciones e indicaciones que regirán el proceso, incluyendo consideraciones como objetivo, alcance, y el procedimiento general, especificando cuales son los instructivos y formatos que tiene disponible el usuario al momento de llevar a cabo alguno de las tareas.
- Instructivos de trabajo: Define en detalle cada actividad y los procedimientos que debe llevar a cabo para su desarrollo. Especifica el cómo se debe llevar a cabo.
- Formatos: Define la plantilla o estructura del documento que se debe llenar al momento de llevar a cabo la

actividad. No todas las actividades tienen definido un formato.

- Registros: Son los formatos una vez han sido diligenciados por sus responsables durante el desarrollo del proceso.

3.1.1. Configuración de Usuarios en el Sistema

Los sistemas PLM suelen clasificar los usuarios a partir de la definición de permisos en el sistema. De esta forma, un rol puede representar un cargo o función determinada dentro de la organización, sin necesidad de utilizar para ello el nombre propio de la persona que ejerce dicha función. Esto permite que se puedan definir procesos y plantillas de proyectos de manera genérica, de forma tal que dicha función recaiga sobre quienes conforman ese grupo de roles. Adicionalmente los grupos están creados, de forma tal que cada usuario perteneciente a un grupo determinado, herede los permisos definidos para tal grupo (Mejía Gutiérrez, Correa Vélez, Ruiz Arenas, Cálad Álvarez, & Méjia Zapata, 2010).

Para el caso del sistema Aras InnovatorTM, se definen usuarios, identidades e identidades de grupo. El usuario representa la persona que ingresa al sistema a partir de un nombre de usuario y contraseña; identidad puede representar un "alias" o rol determinado, que cumple un usuario (ver Figura 4). Todo usuario genera automáticamente una identidad definida por el nombre de usuario, pero puede tener más de una identidad en el sistema según los roles que desempeñe. Finalmente, una identidad de

grupo representa, como su nombre lo indica, un grupo que está compuesto por otras identidades o grupos. Para el ingreso al sistema por parte de los usuarios, se realiza a través del acceso web a la plataforma ARAS, digitando su usuario y contraseña previamente establecidos. Una vez ingresado, este se encontrará con el menú establecido para el control y seguimiento de los moldes que ingresen al taller.

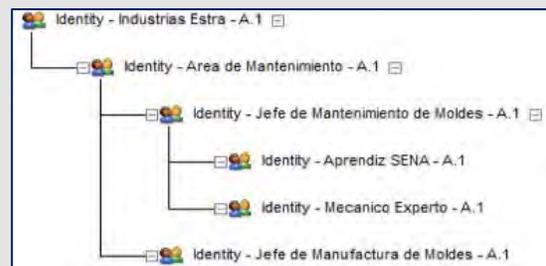


Figura 4. Organigrama del área de mantenimiento

3.2. Definición de permisos

Una vez definidos los grupos y los procesos se procede a definir los permisos generales que aplican para las identidades de grupo previamente mencionadas. Para ello es importante considerar que el sistema Aras Innovator permite definir una serie de permisos por función, y por estado dentro del ciclo de vida de cada ítem (Mejía Gutiérrez, Correa Vélez, Ruiz Arenas, Cálad Álvarez, & Méjia Zapata, 2010).

De acuerdo con Mejía, un ciclo de vida define cada uno de los estados por los que puede pasar un ítem antes de ser aprobado. Dentro de cada uno de dichos estados, el documento, parte, o ítem recibe un "adjetivo" calificativo que puede ser:

"Preliminar", " En revisión", "Aprobado", entre otros.

Los permisos se asignan a través de la función "Permission" de ARAS Innovator y para ello se utilizaron las instanciaciones que se presentan en la Tabla 1. Es de anotar que los estados cuyo permiso aparece como "N/A" se debe a que para él aplican los permisos generales definidos para el "Item Type", que corresponden a la instanciación usada para "Preliminar". Adicionalmente el "Not lockable" indica que no puede ser editado mientras esté en dicho estado por ningún usuario.

Item	Estado del Ciclo de Vida	Instanciación de Permiso	Instanciación nueva o modificada
Document	Preliminar	Nuevo Documento	Nuevo
	En revisión	Documento En Revisión	Nuevo
	Lanzado	N/A	Nuevo
Part	Preliminar	Nueva parte	Por Defecto (Modificado)
	En revisión	Parte en Revisión	Por Defecto (Modificado)
	Lanzado	N/A	Por Defecto (Modificado)
Project	Pendiente	Project	Por Defecto (Modificado)
	Activo		
	En revisión	N/A	Por Defecto (Modificado)
	Cancelado	N/A	Por Defecto (Modificado)
	Cerrado		
Meeting	Preliminar	Open Meeting	Nuevo
	Lanzado	N/A	Nuevo
Molde	Recepción	Molde en recepción	Por Defecto (Modificado)
	Mantenimiento	Molde en mantenimiento	Por Defecto (Modificado)
	Ensamble	Ensamble del molde	Por Defecto (Modificado)
	Despacho	Molde en despacho	Por Defecto (Modificado)
	Devolución	Devolución del molde	Por Defecto (Modificado)

Tabla 1. Instanciaciones del ítem "Permission" utilizadas o creadas.

3.3. Configuración del Árbol de Contenidos

El Árbol de Contenidos es el menú que encontrarán los usuarios en la parte izquierda de su imagen. Dicho menú contiene en iconos todos los ítems a los que el usuario puede acceder según los

permisos que le han sido otorgados por el administrador (Mejía Gutiérrez, Correa Vélez, Ruiz Arenas, Cálad Álvarez, & Méjia Zapata, 2010).

El administrador cuenta con su propio TOC que contiene todos los ítems con que cuenta el sistema, sin importar si están implementados o no dentro de la estrategia. Por su parte, el resto de los usuarios que acceden al sistema solo podrán visualizar aquellos que hayan sido configurados por el administrador para que este los vea y use (Mejía Gutiérrez, Correa Vélez Ruiz Arenas, Cálad Álvarez, & Méjia Zapata, 2010).

De acuerdo con Mejía, todo usuario que ingrese al sistema diferente al administrador encontrará una estructura de módulos como la que se ilustra en la Figura 5b. Si además ese usuario tiene el rol de Administrador de proyecto, su estructura será como la que se presenta en la Figura 6. La configuración del TOC se hace a través de la definición de cada

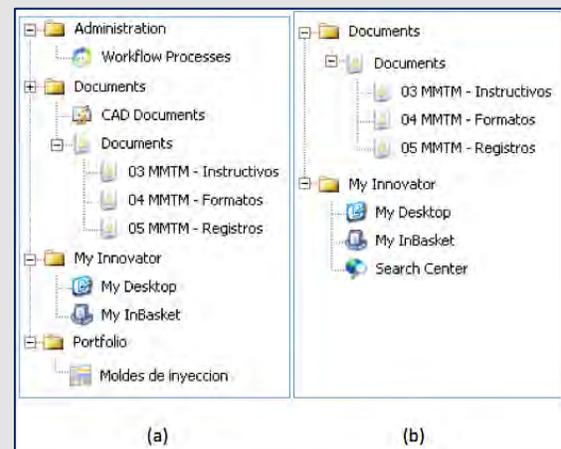


Figura 5. Estructura del TOC para (a) Directores del PMMI y (b) para Operarios

Es importante aclarar que al momento de ingresar a la plataforma ARAS PLM, se

encontrarán ítems adicionales en la estructura del TOC, ya que, si el administrador oculta estos ítems, inmediatamente se ocultarán a su vez para todos los usuarios registrados en el sistema, afectando de un modo u otro el trabajo de otros usuarios para los que puede ser útiles estos ítems ocultos. En el presente proyecto se hace alusión a los ítems que serán necesarios para llevar a cabo el proceso de mantenimiento de moldes de inyección.

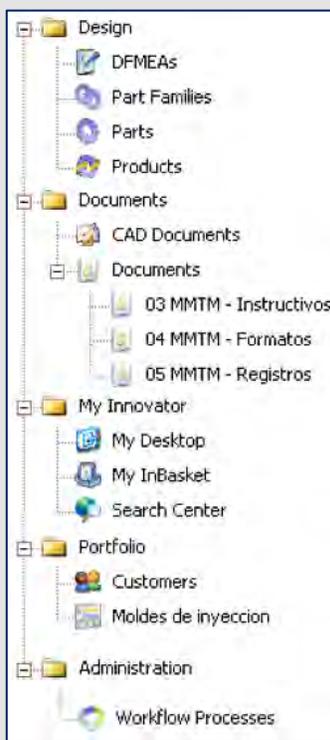


Figura 6. Estructura del TOC para usuarios con el rol "Administrador"

3.4. Proceso de Mantenimiento con PLM

Para la realización del proceso de mantenimiento con ayuda del software PLM (ARAS Innovator™) se llevan a cabo los siguientes pasos:

El director ingresa a la plataforma a través de su usuario, este ingresará el nuevo

molde al cual se le realizará el mantenimiento dando click en "Portafolio" ubicado en el toc. Seguido a esto se abre la opción "moldes de inyección", descrito en la Figura 7.



Figura 7. Portafolio de moldes de inyección

Acto seguido se crea un nuevo ítem "molde de inyección", dando click en el botón "Create a new ítem", a su vez, se puede ingresar por el menú "File", seguidamente se da click en el botón "New", como se muestra a continuación (ver Figura 8).

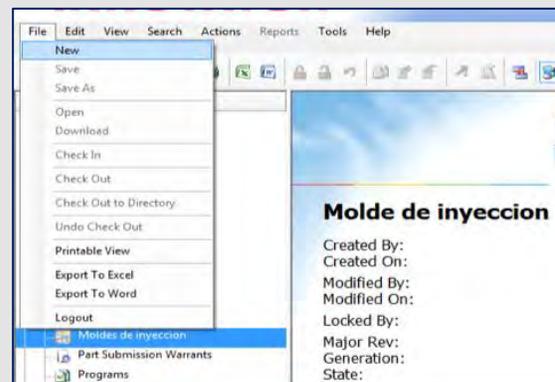


Figura 8. Nuevo Ítem

Posteriormente se ingresará el nombre del molde (ver Figura 9), al cual se le realizará el proceso de mantenimiento. Lo anterior permitirá registrar el molde en el sistema.

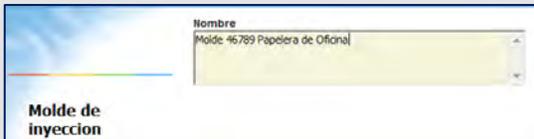


Figura 9. Nombre del molde que pasará por un PMMI

Seguidamente se inicia el proceso de mantenimiento, a su vez que las tareas y actividades del proceso de mantenimiento avancen, así mismo se irá avanzando en el proceso en el software PLM. Luego de haber realizado el paso número iii, se procede al llenado de registros y control del proceso de mantenimiento del molde, a través del campo "Workflow Process" ubicado en el menú "Administration", del menú principal para el administrador (ver Figura 10), donde se busca el ítem creado anteriormente.

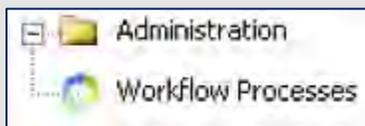


Figura 10. Opción Workflow Process

Luego de haber finalizado el paso número iv, se procede a buscar el molde ingresado en el numeral iii (ver Figura 11).

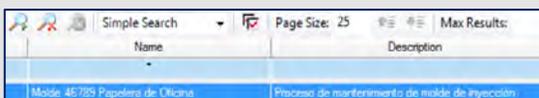


Figura 11. Workflow Process del ítem

En caso de dar click derecho y seleccionar la opción "View", el software mostrará el estado en el que se encuentra el molde

dentro del flujo de trabajo, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12. Opción View del Workflow Process Aprobar verificación

Seguidamente el encargado del proceso, será quien realice las actividades y/o tareas que sugiere el proceso. En este caso una vez ingresado el molde, pasará a "Aprobar verificación", en donde el responsable será quien dé el visto bueno para "promover" (el molde pasa a la siguiente actividad) el molde, en este caso será el "mecanico" quien promueva el molde. Para esto, el "mecanico" ingresará al software PLM y posteriormente se dirigirá a la opción "My InBasket" (esta opción recibirá las actividades asignadas de acuerdo a la identidad, generalmente consiste en una lista de acciones a realizar), ubicado en el menú principal (ver Figura 13).



Figura 13. Opción My InBasket

Seguidamente se abrirá un menú de opciones, donde se buscará el molde en

proceso, donde se indicará en la columna "Activity" que el molde necesita ser aprobado para su posterior promoción (Figura 14).

Filter by Type			
<input checked="" type="checkbox"/>	Workflow Activities	<input type="checkbox"/>	Project Activities
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Action Items
Type	Workflow/Project	Activity	Status
	Molde 46789	Papelera de Oficina	Aprobar verificación
			Active

Figura 14. Aprobación del molde

Para llevar a cabo la promoción a la siguiente actividad del flujo de trabajo es necesario haber realizado las tareas requeridas de la actividad en que se encuentra el molde, como se muestra en la imagen a continuación:

Sequence	Required	Description
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Ubicar el molde en el sitio de trabajo
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Verificar estado del guacal
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Llenar formato 04- MMTM- 5- 01 (Ficha de recibimiento del molde)
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Llenar formato 04- MMTM- 5- 02 (Ficha de recibimiento del molde)
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Llenar formato 04- MMTM- 2- 01 (Ficha de estado de guacales)

Figura 15. Tareas de la actividad "Aprobar verificación"

Seguidamente se procede al llenado de manera adecuada de los formatos requeridos. Para esto se dirige al menú "Documents" y se selecciona el respectivo ítem. Se desplegará la lista con los formatos existentes, como se muestra en la Figura 16.

Simple Search			
Document Number	Revision	Name	
04*MMTM*			
Document	04- MMTM- 15- 01	A	Ficha de mantenimiento
	04- MMTM- 21- 01	A	Diagnostico del molde buen estado
Created By:	04- MMTM- 21- 02	A	Diagnostico del molde mal estado
Created On:	04- MMTM- 22- 01	A	Formato de repuestos
Modified By:	04- MMTM- 23- 01	A	Formato de ensamble
Modified On:			

Figura 16. Menú de Formatos

Acto seguido se procede al llenado del formato requerido, se da click derecho en este y finalmente se selecciona la opción Edit (ver Figura 17).

Simple Search			
Document Number	Revision	Name	
04*MMTM*			
Document	04- MMTM- 02- 01	A	Ficha de estado de guacales
	04- MMTM- 05- 01		New
Created By:	04- MMTM- 05- 02		Save As
Created On:	04- MMTM- 06- 01		Edit
Modified By:	04- MMTM- 07- 01		View
Modified On:	04- MMTM- 08- 01		

Figura 17. Opción Edit Formato Ficha de estado de guacales

Posteriormente se da click derecho en el formato a diligenciar y se elige la opción: Get a Copy of "File" to files, como se describe en la imagen a continuación, luego se selecciona el directorio del computador en que se desea que el formato sea descargado.

File Name	File Type [..]	Comments
04- MMTM- 2- 01 (Ficha de estado de guacales).doc	MS.Excel	
	View "File"	
	New	
	Delete	
	Copy	
	Lock	
	Get Copy of "File" files	
	Check Out for "File"	
	Check Out for "File" to directory	

Figura 18. Opción Get Copy of "File" to files

Seguidamente se abre el documento y se procede al llenado del respectivo formato.

Luego de haber llenado el formato y guardado posteriormente, se continúa con el proceso subiendo el formato a la plataforma, esto se hace, creando un nuevo documento, seguido a esto se sube el documento a la plataforma, en la opción "New Relationship", finalmente se da click en la opción "Save, Unlock & Close", tal como se muestra en las figuras 20, 21 y 22.

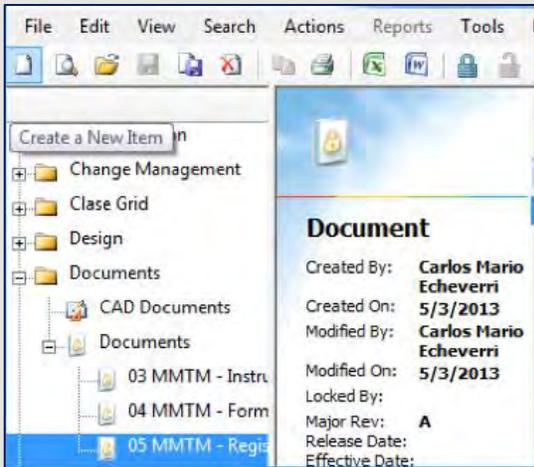


Figura 19. Opción Create a New Item

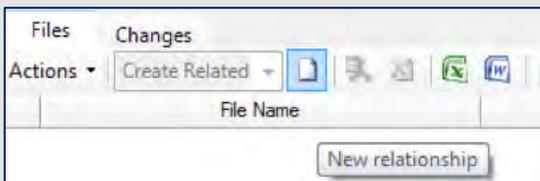


Figura 20. Opción New Relationship

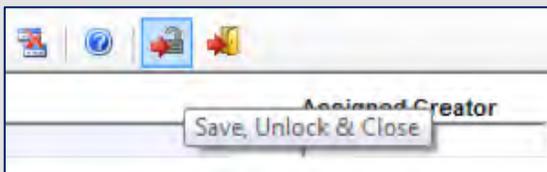


Figura 21. Opción Save, Unlock & Close

Luego de haber guardado el registro, se procede a la promoción del molde, a la siguiente actividad. Para esto se selecciona la opción "My InBasket" en el menú "My Innovator". Seguidamente se da click derecho en el molde en el cual se está realizando el mantenimiento y se selecciona la opción Update Activity.

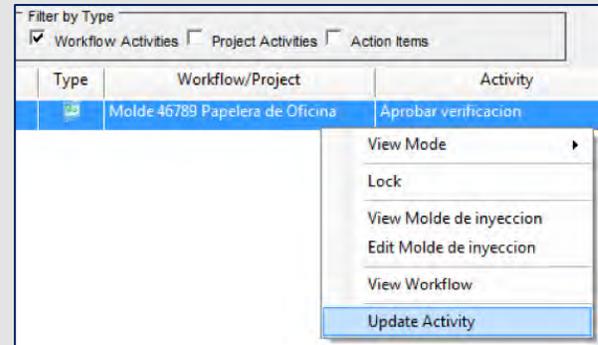


Figura 22. Opción Update Activity de Aprobar verificación

Luego de haber diligenciado las tareas requeridas se continúa promoviendo el molde de la siguiente manera: luego de haber diligenciado los formatos, se da click en el cuadro correspondiente a cada documento, indicando que estos ya fueron diligenciados, seguidamente en el campo vote, se elige la opción "guacal en buen estado", finalmente se da click en la opción "Complete" para poder así promover el molde.

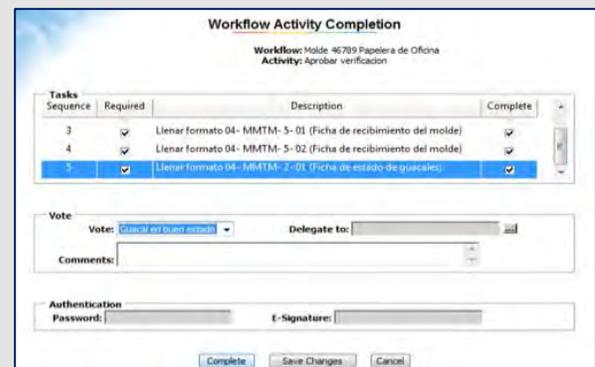


Figura 23. Promoción del estado del molde Aprobar verificación

Como se observa en la Figura 46, el molde pasa de la actividad "Aprobar verificación" a la actividad "Llenar registro del molde".



Figura 24. Opción View Workflow Process Llenar registro del molde

De esta manera se vuelve a repetir los pasos anteriormente mencionados hasta el final del proceso de mantenimiento.

4. Conclusiones

En el muestrario y seguimiento de las diferentes técnicas de mantenimiento de moldes de inyección se encontraron distintos métodos empíricos, modalidades y estilos de aplicación de la técnica de mantenimiento en el entorno de la industria Nacional e Internacional. No se tiene un método estandarizado, estable y uniforme y, además, los encargados del manejo de este conocimiento en las empresas, lo hacen restringido, reservado y en algunas ocasiones oculto. Por lo tanto, se encontró la necesidad de establecer un proceso estandarizado para el mantenimiento de moldes de inyección de plástico, apoyado en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM) se hace evidente.

Se encontró que, con la aplicación en cada uno de los casos de los diferentes métodos con sus variables, dio como consecuencia que, a medida que se estandariza el proceso de mantenimiento con la implementación de la herramienta PLM, se

evidencia cómo el tiempo disminuye significativamente, pasando de 27.55 horas de duración del mantenimiento a tan solo 10.86 horas, reduciendo el tiempo de mantenimiento en un 61%.

La implementación del modelo PLM permitió definir con certeza el "qué", "quién", "cómo" y "cuándo" se debe llevar a cabo cada una de las actividades que conforman el proceso de mantenimiento de moldes y establece con claridad el tipo de información requerida a lo largo del mismo, de forma tal que su contenido asegure el correcto funcionamiento de los equipos de producción. También permite obtener de dichos equipos la mayor disponibilidad, e igualmente predecir las averías e incluso a llega a determinar las causas del problema y, por tanto, erradicarla. Esta herramienta permitió de igual forma el trabajo colaborativo, independientemente de la ubicación geográfica de los actores, contando así con la participación de todos los departamentos de la empresa, proveedores, distribuidores, entre otros que estén relacionados con la información asociada con el producto. Consiguientemente esto conlleva a un funcionamiento mejorado a largo plazo y el resultado generó, para la empresa, una mayor cantidad de piezas producidas, un menor número de paradas en la producción y un aumento en la vida útil del molde. Todo esto se representa en ganancias de tiempo y de dinero.

Referencias

Alemanni, M., Destefanis, F., & Vezzetti, E. (2010). Model-based definition design in the product lifecycle management

scenario. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1-4).

Altan, T., Lilly, B., Yen, Y. C., & Altan, T. (2001). Manufacturing of Dies and Molds. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 50(2), 404-422. [http://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62988-6](http://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62988-6)

Cugini, U., Ramelli, A., Rizzi, C., & Ugolotti, M. (2006). Total, Quality Management and Process Modeling for PLM in SME. En H. A. E. Bs. MEng, PEng, FSME FCSME & W. H. E. Bs. MEng, PEng, FASME FCSME (Eds.), *Advances in Design* (pp. 339-350). Springer London.

Czopik, J., Košinár, M. A., Štolfa, J., & Štolfa, S. (2014). Formalization of Software Process Using Intuitive Mapping of UML Activity Diagram to CPN. En P. Kömer, A. Abraham, & V. Snášel (Eds.), *Proceedings of the Fifth International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications IBICA 2014* (pp. 365-374). Springer International Publishing.

Grieves, M. (2005). *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking* (1 edition). New York: McGraw-Hill Education.

Monteleone, M. (2010, noviembre). Structuring AS-IS and TO-BE Process Improvement Discussions using the Fishbone Diagram > Business Analyst Community & Resources | ModernAnalyst. Recuperado 24 de abril de 2016, a partir de <http://www.modernanalyst.com/Resources/Articles/tabid/115/articleType/ArticleView/articleId/1562/Structuring-ASIS-and-TOBE-Process-Improvement-Discussions-using-the-Fishbone-Diagram.aspx>

Muthu, S., Whitman, L., & Cheraghi, H. (1999). *Business Process Reengineering: A Consolidated Methodology*. San Antonio, Texas, USA.

Ruiz Arenas, S. (2012). *Methodology for PLM implementations*.

APLICACIÓN DEL MARCO DE FUNDAMENTACIÓN DEL PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI) ASIGNATURAS DE PROYECTOS DE MÁQUINAS Y EQUIPOS.

*Carlos Mario Echeverri Cartagena, Jorge Esteban Montoya Cano, Andrés Felipe Álzate
Graciano*

Resumen:

La industria manufacturera colombiana necesita de una guía estructurada, en la que el diseño en ingeniería se interrelacione constantemente con la teoría administrativa a través de todo el ciclo de vida de fabricación de equipos, garantizando que un proyecto de manufactura termine con una alta confiabilidad desde la concepción de la idea hasta la fabricación de la respectiva máquina, cumpliendo con los requisitos funcionales que se encuentran dentro del cronograma, el presupuesto y el alcance pactado.

Se presenta el marco de fundamentación utilizado para el desarrollo de este tipo de proyectos a nivel académico, detallando las actividades y herramientas principales. Se describe un caso de éxito en el desarrollo de una banda transportadora, teniendo como propósito evidenciar nuevos hallazgos a partir de la experiencia obtenida con esta clase de implementaciones, que en el futuro se verán reflejadas en los ingenieros formados en el desarrollo avanzado de los procesos de manufactura, logrando así una sensibilización de la industria por este tema.

Palabras clave: Proyectos de ingeniería, *Project Management Institute*, Proyectos de Máquinas y Equipos, Educación en ingeniería

Abstract

Colombian manufacturing industry needs a structured guide, in which engineering design is constantly interrelating with management theory throughout the life cycle of manufacturing equipment, ensuring the projects of manufacturing getting finished with high reliability from the conception of the idea to the manufacture of the respective machine, meeting the functional requirements within schedule, budget and scope. The foundation framework used to develop such projects at the academic level is presented, detailing the activities and main tools. A case of successful development of a conveyor belt is described, with the purpose to demonstrate new findings from the experience gained with this kind of implementations. This in return will be reflected in the trained engineers that will enable them in manufacturing advanced processes and also achieving the industry awareness about this issue.

Keywords: Projects in Engineering, Project Management Institute, Machinery and equipment projects, Engineering education.

1. Introducción

A. Enfoque de la Asignatura Proyecto de elementos de Máquinas y Equipos

El Departamento de Ingeniería de Producción, de la Universidad EAFIT, cuenta con el área de estudios en manufactura, en la cual los estudiantes deben afrontar problemas prácticos de ingeniería para la fabricación de diferentes productos con requerimientos distintos. Durante el desarrollo de dichos proyectos y a través de las diferentes asignaturas del área en las cuales se hace énfasis en los diferentes procesos de manufactura [1], sistemas de manufactura [2] y herramientas de producción. La última asignatura del área de manufactura retoma todos los conocimientos previos adquiridos por el estudiante a lo largo de la carrera y se enfoca en la realización de una máquina desde una perspectiva más amplia, comprendiendo la importancia de las variables de un proyecto en el entorno global de las máquinas y herramientas, los sistemas de producción, conociendo los

principales tipos de máquinas en nuestro entorno. La fabricación de esta máquina parte desde la identificación de las necesidades hasta la construcción de dicha máquina, lista para su operación.

B. Proyectos de Manufactura en Colombia

Actualmente, la industria manufacturera colombiana no cuenta con una metodología en la que el diseño en ingeniería se interrelacione constantemente con la teoría administrativa a través de todo el ciclo de vida de fabricación de equipos y que garantice que, un proyecto de manufactura desde la concepción de la idea hasta la fabricación de la respectiva máquina termine con una alta confiabilidad, cumpliendo con los requisitos funcionales dentro del cronograma, presupuesto y alcance pactado. Por este motivo se propone la utilización de esta estrategia en los cursos de proyecto, con el fin de apropiar a los estudiantes de Ingeniería con dichas tecnologías para que posteriormente

estén en capacidad de proponer estrategias similares en el medio industrial colombiano una vez insertados en el sector laboral [3]. Ahora, este tipo de proyectos por sus condiciones requieren de una minuciosa y correcta gestión, es aquí donde la gestión de proyectos de diseño y fabricación de máquinas se basa en la metodología de PMI [4], que pretende desarrollar un método estructurado, acompañando todas las fases del proyecto desde el levantamiento de requisitos hasta su puesta en producción, garantizando así, la generación de valor de manera sostenible por parte de la industria, trazabilidad durante el proceso de diseño, fabricación e integración. Así pues, la definición de proyectos de manufactura planeado y ejecutado bajo la metodología de gestión de proyectos del PMI, surge como una propuesta de solución que busca garantizar el éxito de estos esfuerzos, minimizando el riesgo de sobrecostos y finalización del proyecto después del cronograma pactado.

C. Marco de Fundamentación Project Management Institute (PMI)

La gestión por proyectos se ha convertido en una poderosa manera de integrar las funciones de las organizaciones y motivar a los grupos para alcanzar mayores niveles de rendimiento y productividad [5]. El PMI define la dirección de proyectos como “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo”, Brill la define como “el conocimiento, herramientas y técnicas para el control de requerimientos, configuración de un horario y alcance realista, definición de

responsabilidades y gestión de expectativas” [6]. Del mismo modo Ibert plantea que una dirección de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Esto se puede ver como la aplicación secuencial de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado las capacidades pueden ser almacenadas y transferidas con el tiempo, espacio y contexto. Además, la dirección de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a la pérdida de conocimiento táctico almacenada en memorias individuales [7].

Del mismo modo el PMI define proyecto como “el esfuerzo que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” [4], también puede ser visto como un vehículo para poner en práctica la inversión de capital en un nuevo o un mejorado activo [8].

Existen varios enfoques sobre el ciclo de vida del proyecto en la literatura, por ejemplo, control orientado al modelo, calidad orientada al modelo, riesgo orientado al modelo, así como de algunos ciclos de vida de proyectos específicos de la empresa [9].

El número de fases dentro de cada uno de estos enfoques difiere, así como los nombres utilizados para describir las fases. Debido a la naturaleza compleja y diversidad del proyecto, industrias o empresas, incluso dentro de un mismo sector de la industria, no puede llegar a un acuerdo acerca de las fases del ciclo de vida de un proyecto [10].

El PMI define el ciclo de vida de un proyecto como la serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. Las fases son generalmente secuenciales y sus nombres y números se determinan en función de las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. Las fases se pueden dividir por objetivos funcionales o parciales, resultados o entregables intermedios, hitos específicos dentro del alcance global del trabajo o disponibilidad financiera [4].

Los procesos varían en tamaño y complejidad. Todos los proyectos pueden configurarse dentro de la estructura genérica de ciclo de vida (ver figura 1):

- Inicio del proyecto,
- Organización y preparación,
- Ejecución del trabajo y
- Cierre del proyecto.

El PMI define proceso como un conjunto de acciones y actividades relacionadas entre sí, que se realizan para crear un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que se pueden aplicar y por las salidas que se obtienen. Los procesos de la dirección de proyectos aseguran que el proyecto avanza de manera eficaz a lo largo de su ciclo de vida. Estos procesos incluyen las herramientas y técnicas involucradas en la aplicación de las habilidades y capacidades de las respectivas áreas del conocimiento [4].

Un Área de Conocimiento representa un conjunto completo de conceptos, términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito de la dirección de proyectos o un área de especialización. Según el PMBOK existen diez áreas de conocimiento que son: Gestión de la Integración del Proyecto, Gestión del Alcance del Proyecto, Gestión del Tiempo del Proyecto, Gestión de los Costos del Proyecto, Gestión de la Calidad del Proyecto, Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto, Gestión de las Comunicaciones del Proyecto, Gestión de los Riesgos del Proyecto, Gestión de las Adquisiciones del Proyecto y Gestión de los Interesados del Proyecto [4].

La figura 2 ilustra las diferentes herramientas utilizadas en la implementación del marco de la dirección de proyectos, de esta manera se ilustra un proyecto considerablemente estandarizado, para así disminuir su variabilidad.



Fig. 1 Niveles típicos de costo y dotación personal en una estructura genérica de ciclo de vida del proyecto (tomado del PMBOK).



Fig. 2 Herramientas del marco de la dirección de proyectos.

II. Caso de estudio: banda transportadora

Se presenta caso exitoso del proceso de fabricación de una banda transportadora para el transporte y análisis de procesos de producción en las instalaciones de la Universidad EAFIT. EL motor de 12V 1.3A, la fuente 24V y diferentes componentes pertenecientes al circuito eléctrico fueron suministrados por la Universidad. A. Proceso de Inicio El grupo de estudiantes que participaron en la fabricación de la banda transportadora estudiaron las necesidades de realizar una representación didáctica de un sistema de bandas transportadoras utilizadas en una planta de producción "X". Dentro de los requisitos del proyecto más significativos previamente establecidos fueron: soportar una capacidad mínima para transportar de 2Kg en sentido longitudinal con una dimensión de 1000mm y 200mm de ancho, la altura de la banda se deberá encontrar entre 1500mm y 1515mm, a su vez la banda debe permitir el transporte de carga en ambas direcciones. De esta manera se redactó el acta del proyecto que tenía como alcance: Lograr la construcción de una máquina con los materiales idóneos y con la posibilidad de

movimiento en los ejes X, Y. La máquina será una banda transportadora funcional de 100x20cm con la intención de transportar objetos con un peso aproximado de 2Kg. Con esta máquina se pretende una vez fabricada colocarla a disposición de los estudiantes de Ingeniería de Producción en un laboratorio de simulación de planta. También se estableció un periodo de realización del proyecto de 16 semanas, en las que al finalizar estas, los estudiantes deberían entregar toda la documentación referente al trabajo tales como, acta del proyecto, EDT del proyecto, diagrama de Gantt, planes de administración, adquisiciones, mitigación y contingencia, planos, cartas de proceso y manuales de seguridad, uso, ensamble de máquina y circuito eléctrico y bitácora del proyecto, todo esto a través de la herramienta tecnológica de la universidad (EAFIT Interactiva) la que permitió gestionar los entregables en las fechas pactadas.

A. Proceso de Planeación

El primer paso en el proceso de planeación consistió en planificar la gestión del alcance a través de la recopilación de requisitos funcionales, no funcionales y técnicos. Posteriormente, se definió el alcance, desarrollando una descripción detallada del proyecto y del producto, especificando los límites del producto mediante la explicación de los requisitos recopilados que fueron incluidos y los que fueron excluidos en el alcance del proyecto.

Seguidamente se creó la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), subdividiendo los entregables del proyecto en

componentes más pequeños, proporcionando una visión estructurada de lo que se debía entregar. De esta manera se definieron las actividades necesarias para realizar cada uno de los entregables y se continuó secuenciando las actividades.

De esta forma se procedió al diseño de la máquina, realizando sus respectivas pruebas de resistencia y mecanizado a través de la herramienta tecnológica Solidworks, posteriormente se procedió a estimar los recursos, la duración y desarrollar el cronograma, dando como resultado el diagrama de Gantt (ver figura 3) a través del software Microsoft Project.

B. Proceso de Ejecución

Con el plan de adquisiciones, que busca obtener los proveedores de mejor calidad y precio, ubicados estratégicamente en un lugar cercano al centro de trabajo y los materiales suministrados por la universidad, se procedió a la fabricación y ensamble de la banda iniciando con la realización de los planos de taller, los cuales contienen la información de mecanizado [11]. Luego se procedió al mecanizado de las piezas, la mayoría de estas fueron mecanizadas en los laboratorios de manufactura de la universidad para realizar así el ensamble estructural de la banda con el componente electrónico. En la Figuras 5, 6 y 7 se observa el proceso de fabricación de la banda transportadora, las piezas fabricadas en los laboratorios, el proceso de ensamble y el acabado final de la banda transportadora.

C. Proceso de Monitoreo y Control

La ruta crítica es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto y

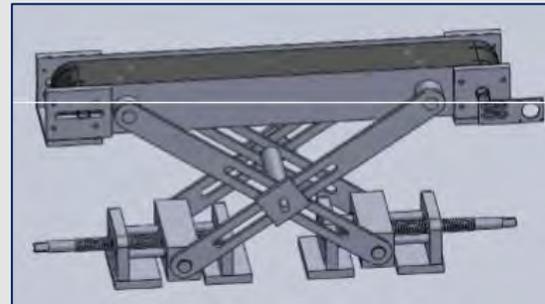


Fig. 3 Modelación 3D en Solidworks.

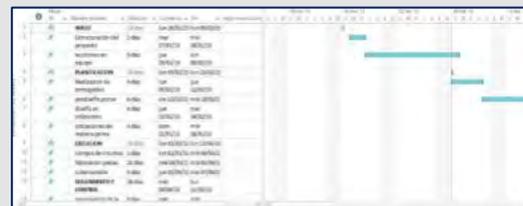


Fig. 4 Diagrama de Gantt.



Fig. 5 Proceso de Fabricación de la Banda Transportadora (1/3).



Fig. 6 Proceso de Fabricación de la Banda Transportadora (2/3).



Fig. 7 Proceso de Fabricación de la Banda Transportadora (3/3).

determina la menor duración posible del mismo [12], así se garantizó que esta secuencia de actividades se fuera realizadas dentro del cronograma pactado para evitar retrasos y reproceso. Adicionalmente los estudiantes continuaron con el procedimiento de monitoreo y control a través de diferentes pruebas. Para la banda se ejecutaron pruebas técnicas dimensionales, de desplazamiento, inclinación, carga mecánica, estabilidad y velocidad.

D. Proceso de Cierre

Finalmente, todas las bandas fabricadas fueron expuestas ante la comunidad

universitaria y el público en general como se había planeado inicialmente (Figura 8 y 9). También se hizo entrega por parte de los estudiantes de los diferentes manuales para la correcta utilización de la máquina, como son el manual de uso (encendido-apagado, puesta en marcha, configuración del software Match 3), manual de ensamble de la máquina y manual de ensamble del circuito eléctrico y la bitácora del proyecto, permitiendo así documentación para futuros nuevos proyectos de este tipo. Finalmente se realizó el acta de cierre con la que se dio por concluido el proyecto.



Fig. 8 Exposición al Público (1/2).



Fig. 9 Exposición al Público (2/2).

III. Conclusiones

Con la fabricación de máquinas bajo el marco de fundamentación propuesto por el PMI, se pusieron en práctica conocimientos adquiridos durante la

materia Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos y durante la carrera de Ingeniería de producción en general, como fundamentos de diseño mecánico, materiales, procesos de manufactura y automatización y circuitos. La guía propuesta para este tipo de proyectos ha sido eficaz para guiar a los estudiantes a través de una exitosa gestión de fabricación de máquinas, fabricando una banda transportadora funcional logrando los objetivos previamente establecidos. Se realizó una correcta fabricación de la banda transportadora, la cual cumplió con todos los requisitos funcionales y no funcionales establecidos desde el inicio del proyecto; alcanzando los objetivos estratégicos del proyecto dentro del alcance, tiempo y presupuesto designados. Por lo tanto, la dirección futura podría ser un plan de investigación utilizando un software que permita un enfoque integrado, basado en la información integrado por las personas, los procesos/prácticas, y la tecnología en todos los aspectos de la vida del producto, desde su diseño hasta la fabricación, distribución y mantenimiento. Que culmina con la remoción del producto del servicio y disposición final. Para la transferencia de la información del producto acerca de la pérdida de tiempo, energía y material a través de todos los involucrados del proyecto desde los proveedores hasta el usuario. Este proyecto podría ser la base para una línea importante de investigación futura en la gestión de proyectos que cumplan el alcance previamente pactado dentro del cronograma y los costos previstos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad EAFIT y a los estudiantes participantes de la escuela de ingeniería por haber tenido una participación activa durante la investigación y despliegue del método.

Referencias

- [1] H. Tschaetsch, Metal Forming Practise. Berlin: Springer Berlin Heidelberg
- [2] C. T. Papadopoulos, M. J. Vidalis, M.E. O'Kelly, and D& Spinellis, "Manufacturing Systems Types and Modeling," Analysis and Design of Discrete Part Production Lines, vol 31, pp 1-23, mayo 2009.
- [3] R. Mejía Gutiérrez and G. Osorio Gómez, "Complejidad, Sostenibilidad y Tecnología: Un enfoque integrador para el desarrollo de proyectos académicos en ingeniería de diseño," agosto 2001 [9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology].
- [4] Project Management Institute. Guía de los Fundamentos Para La Dirección de Proyectos. Newtown Square, E. UU, 2013.
- [5] G. Fernandes, S. Ward, and M. Araújo, Improving and embedding project management practice in organisations - A qualitative study. International Journal of Project Management, vol. 33, pp. 1052-1067, 2015.
- [6] J.M. Brill, M.J. Bishop, and A.E. Walker, The Competencies and Characteristics Required of an Effective Project Manager: A WebBased Delphi Study. Educational

Technology Research and Development, vol.54, pp.115-140, 2006.

[7] O. Ibert, Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology. Research Policy, vol.33, pp. 1529-1546, 2004.

[8] C. Labuschagne, and A.C. Brent, Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. International Journal of Project Management, vol. 23, no. 2, pp. 159-168. Febrero 2005.

[9] P. Bonnal, D. Gourc, and G. Lacoste, The life cycle of technical projects. Project Management Journal, pp. 12-19, 2002.

[10] H.R. Kerzner, Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling. New York, 2001.

[11] C.F. You and S.S. Yang, Automatic feature recognition from engineering drawings. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.14, pp. 495-507, Julio 1998.

[12] T.G. Lechler, B. Ronen, and E.A. Stohr, Critical Chain: ¿A New Project Management Paradigm or Old Wine in New Bottles? Engineering Management Journal, pp. 45-58, 2005.

Publicado en: Revista TICA I 2016: TICs para el Aprendizaje de la Ingeniería. (ISBN 978-84-8158-732-6)

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE MÁQUINAS CON ENFOQUE PLM: CASO DE ESTUDIO MÁQUINAS DE MECANIZADO CNC EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA

*Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Arturo Rodríguez, Jorge Esteban Montoya Cano,
Andrés Felipe Álzate Graciano*

Resumen

El reto de diseñar y construir maquinaria que se ajuste a los procesos productivos dentro de las organizaciones es un desafío que deben asumir de manera continua las áreas de ingeniería. El curso de proyecto de elementos de máquinas de la universidad EAFIT, es la forma con la cual se prepara al estudiante a asumir este reto dentro un marco metodológico definido bajo el cual puedan orientar sus esfuerzos a la creación de valor como resultado de la integración del recurso humano y conocimiento soportado por tecnología. En este caso de estudio en particular se presentan los resultados de proyectos para los cuales se han desarrollado y construido maquinaria para mecanizado de control numérico bajo un enfoque integrador de PLM detallando el alcance, presupuesto, recursos, fases, tareas clave transformándose en el logro de un prototipo funcional que es entregado a diferentes áreas de la universidad y que han sido alcanzados con cronogramas cortos no mayores a 16 semanas. Además, en el presente artículo se demuestra como la estrategia de conocimiento compartido dentro de PLM, ayuda a transferir herramientas y fortalezas dentro del campo de proyectos en ingeniería que puedan ser utilizadas por ingenieros experimentados en el desarrollo de máquinas para procesos industriales dentro de sistemas productivos complejos.

Palabras Clave: Metodología académica para proyectos de máquinas, Administración del ciclo de vida del producto (PLM), Marco de fundamentación de proyectos, Administración de proyectos, Educación en ingeniería

1. Introducción

La asignatura de proyecto de elementos de máquinas es uno de los cursos bajo el cual el departamento de ingeniería de producción de la universidad EAFIT, busca

formar profesionales que desde su etapa académica se vean retados a diseñar y desarrollar mejoras en procesos productivos, partes técnicas y las máquinas que participan en ellos. Para el

logro de este objetivo metodológicamente propone un enfoque bajo el cual el estudiante conoce una necesidad industrial y emplea sus estudios en diferentes áreas de ingeniería para erigir un proyecto y ejecutarlo. Durante el ciclo de vida de estos proyectos se emplean diferentes marcos de fundamentación para madurar al estudiante dentro de esta disciplina teniendo claro que un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. [1] y que además, la gestión de uno o varios proyectos involucra el entendimiento de variables de riesgo que pueden surgir como dificultades para el logro del objetivo, en la situación particular del campus académico al tener paralelismo con otros proyectos, se presentan situaciones que homologan el entorno laboral como el uso de recursos compartidos y priorización de tareas que afecten el desarrollo de uno o varios proyectos y que finalmente pueden marcar el éxito o el fracaso de los mismos[2].

Ahora, para este caso de estudio el tema específico es el diseño y construcción de una máquina ruteadora CNC con recursos que se limitan a las máquinas herramientas que provee la universidad, el equipo de trabajo de 5 estudiantes y un cronograma de 16 semanas.

A. Diseño De Elementos Mecánicos

El diseño de elementos mecánicos o maquinados es parte integral del campo del diseño mecánico el cual es más extenso y general. En el diseño mecánico, un diseñador o un ingeniero en diseño crean un dispositivo o sistema que

satisface una necesidad particular. Por lo regular, un dispositivo implica partes móviles que transmiten energía y logran un patrón específico de movimiento. Un sistema mecánico se compone de varios dispositivos mecánicos. [3]

El proceso de diseño de máquinas comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto, a menudo la necesidad no es del todo evidente, seguido a esto se da la definición del problema, esta acción es más específica que la identificación de una necesidad, ya que incluye todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse [4]. A continuación, se pasa al proceso de síntesis, que consiste en la concepción de varios esquemas que deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas, los mejores esquemas se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo, siendo los procesos de síntesis y análisis y optimización procesos relacionados de forma íntima e iterativa. Posteriormente el proceso de evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en laboratorio, en esta actividad se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad previamente identificada. Finalmente se llega a la etapa de presentación que consiste en “vender” la nueva solución al personal administrativo, gerencial o de supervisión, a fin de iniciar etapas de gestión del cambio o transformación desde la alta gerencia.

B. PLM- Product life cycle management.

PLM es una solución empresarial que tiene como objetivo agilizar el flujo de información sobre el producto y los procesos relacionados a lo largo del ciclo de vida del producto, facilitando la información adecuada en el contexto adecuado en el momento adecuado.[5] Para lograrlo, en PLM se integran adecuadamente las metodologías de trabajo y la ingeniería concurrente permitiendo el trabajo colaborativo independiente de la ubicación geográfica de los responsables del proceso, integrando así todos los departamentos de la empresa, proveedores, distribuidores, entre otros que están relacionados con la información asociada con el producto [6]

En el caso de una empresa dedicada a la manufactura es normal que esta se dedique a la fabricación de más de un producto con múltiples piezas dentro de su portafolio, La gestión eficiente de múltiples productos que satisfagan las necesidades de múltiples disciplinas es un tema importante que PLM es capaz de abordar con el fin de apoyar la innovación de producto mediante la reducción de todos aquellos procesos que causan la redundancia de datos. [7] [8]

Teniendo en cuenta estas dos definiciones resulta fácil entender porque el enfoque PLM proporciona ventajas sustanciales a la hora de realizar un proyecto académico con los actores interactuando continuamente en términos de ingeniería colaborativa. En especial para este caso específico es sustancial destacar que el entorno productivo viene evolucionando

de manera continua y permite tener herramientas informáticas de forma costo-eficiente para proporcionar acceso a la información del proyecto de forma controlada [9]. Ahora, con esta actualidad en las aulas y recintos de investigación se crea una tendencia en cuanto a formas de trabajo, que cada vez se torna menos individual desde etapas tempranas de la identificación de las soluciones y empieza a mostrar un ambiente que se dirige la generación de valor a través de la colaboración interdisciplinaria durante las diferentes etapas del proyecto investigativo, mostrando un mejor desarrollo si se logra proporcionar un entorno con los métodos, tecnologías y herramientas que permitan incrementar la colaboración con diligencia en el desarrollo de proyectos de ingeniería.[10]

C. Gestión de proyectos

La construcción de una máquina herramienta como la de caso de estudio implica pasar de una etapa de diseños y pruebas en simulación a una etapa de manufactura en la cual es requerido no solo una catalogación adecuada de la información sino además un enfoque de gestión de proyectos con un marco de fundamentación específico. Para el caso de la asignatura de proyectos la universidad ha determinado apegarse a estándares internacionales que proporciona el PMI (Project Management Institute), para el cual la gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo [1]. Considerando que existen 5 grupos de procesos para los cuales estas últimas

deben ser integradas y estos son: Inicio, Planeación, Ejecución, Monitoreo y control, y cierre.

En la actualidad la universidad EAFIT invierte grandes esfuerzos en lograr establecer marcos de trabajo común para las áreas de ingeniería, teniendo en consideración la importancia que tiene tener un lenguaje común de proyectos como el que proporciona el PMI que ha llegado a ser reconocido por la American National Standards Institute (ANSI)[11], acompañados de tecnologías que permitan incrementar los beneficios de llevar la trazabilidad de la información de requerimientos, diseños, casos de prueba y resultados de la implementación de manera controlada como lo hace la estrategia PLM[12], sin dejar de lado que los proyectos son ejecutados por recurso humano que de manera colaborativa aseguran el logro de resultados. Es por esto último y basados en estas prácticas internacionales, se propone la utilización de estos enfoques para el desarrollo de proyectos con el fin de darle al estudiante herramientas para interactuar con equipos interdisciplinarios en distintos lugares del mundo y, además, esté en capacidad de acreditarse de una manera más natural en disciplinas de alta capacidad de transformación como la dirección de proyectos.

II. Descripción de la problemática asociada a los proyectos de máquinas

En un entorno de globalización que se encuentra en constante cambio, en el que cada vez las soluciones de ingeniería se deben diseñar para responder a situaciones de mayor complejidad, el

desarrollo de productos y la investigación acerca de la administración del ciclo de vida de productos tiene una gran importancia [13]. Para hacer frente a esta situación, se impulsa el logro de los objetivos estratégicos de la organización a través de múltiples proyectos con diferentes tamaños, prioridades y necesidad de recursos, que de llevarse a cabo determinarían el éxito o el fallo de toda la organización [2].

Reducir la incertidumbre en la ejecución de los proyectos y determinar el estado de las organizaciones es vital para estas mismas. De esta forma, se busca evaluar la situación actual a través de medidas que puedan representar el rendimiento actual, el pasado y evaluar posibles resultados futuros a través de indicadores clave de rendimiento (KPI) [14]. Dicho de otro modo, Los objetivos, que serán justificación de los proyectos, deben ser entonces monitoreados para asegurar su cumplimiento [15] dando criterios para precisar si se están alcanzando [16].

Si se ven los proyectos de diseño y fabricación de máquinas, como la entrega de un producto que finalmente busca fortalecer y robustecer la infraestructura tecnológica de la organización. Estos necesitan ser gestionados, medidos, ejecutados y controlados diligentemente haciendo uso de un enfoque sistémico que mejore la gestión de proyectos, el desarrollo de productos y los procesos de ingeniería [10]. Una vez definido el proceso es importante definir la metodología de trabajo y de ser posible la utilización de un sistema de información apalanque los resultados y las eficiencias en el mismo. La sinergia entre las metodologías,

herramientas y los procesos de la empresa es la única manera de desarrollar sistemas complejos como máquinas, aviones o carros [12] [7]. Dicho lo anterior, dentro del área de proyectos diseño y fabricación de máquinas se han evidenciado los siguientes problemas asociados a la gestión de proyectos y la administración del ciclo de vida del producto:

- Durante la última década los fabricantes de equipos de ingeniería están tratando de mejorar su conocimiento y rendimiento en el área de gestión de proyectos con el uso efectivo de métodos de gestión. Sin embargo, los retos encontrados no son problemas aislados y por tanto un enfoque sistémico es requerido. [17]
- La mejora de la gestión de proyectos, desarrollo de productos y procesos de ingeniería es para muchas empresas un hito crucial para sobrevivir en un entorno que cambia rápidamente. Sin embargo, estas actividades rara vez se integran bien debido a la diversidad de las partes interesadas con el conocimiento individual sobre proyectos, productos y procesos [10].
- En la industria Aeroespacial y de defensa, así como las empresas de automoción son muy conscientes del hecho de que es imposible sobrevivir en la actualidad o adquirir nuevos segmentos de mercado sin una estrategia organizativa adecuada y orientada al ciclo de vida del producto [18] [19].
- Al no tener procesos claros y llevarse a cabo los proyectos se presenta falta de consistencia de las métricas de los mismos, teniendo diferentes indicadores

que expresan la misma métrica, utilizan la misma información, pero se calculan y se definen de forma diferente. Esto impide, por ejemplo, realizar comparaciones de rendimiento de los proyectos, iniciativas y objetivos alcanzados dentro de la misma organización. [20]

Ahora, la definición de un proceso formal y posterior estandarización hacia la metodología a utilizar de estos proyectos bajo la unificación del marco de fundamentación de gestión de proyectos del Project Management Institute (PMI) en conjunto con la integración de las estrategias y herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM), surge como una propuesta de solución que busca garantizar el éxito de estos esfuerzos, minimizando el riesgo de desperdicios en términos de tiempo y dinero.

III. Metodología académica para proyectos de máquinas

La finalidad del proyecto de elementos de máquinas que se imparte en la universidad EAFIT es proporcionarle al estudiante un reto de ingeniería para el cual deba interactuar en equipos de trabajo y además utilice líneas específicas del conocimiento del diseño de soluciones técnicas sin desconocer el papel administrativo en el uso eficiente de recursos en el semestre. Para lograrlo el estudiante debe tener un perfil específico que este en capacidad de utilizar las siguientes líneas de conocimiento que se encuentran dentro del currículo académico del programa de ingeniería de producción:

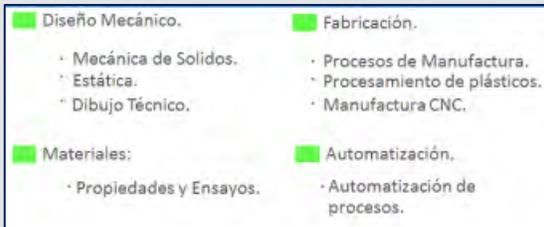


Fig. 1: Caracterización del estudiante, Líneas de conocimiento.

Como apoyo al trabajo de los estudiantes y a fin de brindar un ambiente de trabajo estable con acuerdos de servicio entre las diferentes partes involucradas de la universidad, se erige una metodología de gestión de proyectos que permita utilizar el marco de dirección de proyectos del PMI como una guía, de la cual se extraerán términos y conceptos, al mismo tiempo que se referencian inputs y outputs que son necesarios para los entregables de este proyecto específico. La utilización de este marco como guía permite tener grandes ventajas respecto a la formación del estudiante en su hacer profesional llevándolo a un entorno más real en el que la aplicación sucede desde la necesidad misma del proyecto. Es decir, al utilizar este marco como guía se brinda al estudiante espacios diferentes a la memorización, la cual puede hacer que su proceso de aprendizaje se vea afectado negativamente [21].

Para profundizar un poco más en las ventajas del uso del marco del PMI cabe mencionar que este permite la muestra al estudiante de códigos de ética y conducta profesional que son esperados por los interesados dentro de su vida laboral ilustrando las expectativas que deben tener respecto a sí mismos y a sus equipos de trabajo [22]. Formando así desde la etapa más temprana del proyecto el perfil

psicológico que debe asumir el estudiante en la asignatura.

Una vez se tienen estos elementos definidos se procede a utilizar una metodología basada en liberaciones de subsistemas del producto para ser probados como alternativa al uso de la metodología secuencial tipo cascada. Este tipo de metodología es Agile y es comúnmente utilizada en la ingeniería de software, como respuesta a las limitaciones que se tienen en las metodologías en secuencia [23], con el objetivo de que los equipos estén en capacidad de responder a eventos de incertidumbre, con ejecución en modo de incrementales y etapas iterativas. [24]

El valor agregado del uso de la metodología aplicada consiste en lograr traer prácticas y conocimiento de áreas diferentes de ingeniería para lograr integrar el conocimiento de diseño mecánico y fundamentos de fabricación con áreas de administración de proyectos que permitan acortar los tiempos de entrega de la maquinaria al sistema productivo. Adicionalmente, con la estrategia de PLM e ingeniería colaborativa se proponen herramientas de TI para el manejo de información del proyecto de manera ordenada y controlada por el equipo mismo. Para detallar e ilustrar la implementación de la metodología esta partió de la definición iteraciones para la construcción del prototipo (Ver figura 2) dentro de las cuales se contemplan 5 etapas: 1. Levantamiento de requerimientos, 2. Diseño detallado, simulación y pruebas del diseñador, 3. Fabricación y ensamble de componentes para prototipo, 4.

Planeación y ejecución de casos prueba de producto, 5. Liberación, evaluación y priorización del siguiente ciclo (Ver figura 3).



Fig. 2. Metodología Académica para el proyecto de elementos de máquinas



Figura 3. Detalle de las etapas dentro de cada iteración.

A. Levantamiento de requerimientos

El levantamiento de requerimientos consiste en la identificación, determinación y documentación de necesidades relacionadas al objeto específico del proyecto las cuales ilustran la solución de un problema o la oportunidad de mejorar un proceso productivo a través de la introducción de una máquina de ruteo CNC. Esta etapa de la iteración, se realiza por medio de workshops con participación de todos los estudiantes en compañía de los docentes de la asignatura, expertos técnicos y de manufactura, a fin de tener una estrecha

relación entre los interesados y los equipos de ejecución del proyecto.

El entregable de esta etapa es llamado el product backlog, este es un documento que recopila las características mínimas con las que deberá cumplir el producto o los errores que necesitan ser solucionados como parte del proyecto para que el producto sea aceptado por los interesados, detallando inclusive criterios de aceptación [25]. Esta etapa es crucial en cada uno de las iteraciones dado que dependiendo de la calidad de la descripción y documentación de los requerimientos se obtendrá el beneficio de definir e interiorizar el alcance del proyecto y del producto por parte de todos los actores [1].

Una vez se tiene este output se sube a la plataforma Eafit interactiva (EI) para ser consultado en cualquier momento por todos los equipos de trabajo de la asignatura teniendo en cuenta que este documento solo podrá ser modificado por el grupo de interesados, que en este caso serían los profesores de la asignatura. Además, esta etapa considera un segundo entregable, el acta de constitución de proyecto oficializando el alcance, cronograma, equipo de trabajo y caso de negocio que será trabajado durante la asignatura. Ambos entregables serán el contrato con el que los estudiantes ejecutarán el proyecto. Ahora, por parte de los interesados en paralelo a la entrega de ambos documentos (backlog-acta de constitución del proyecto) se determina y se socializa el plan para la administración de requisitos en el cual se describen actividades como: priorización de requisitos, proceso de control de cambios,

métricas de producto que se utilizarán para determinar el cumplimiento y la trazabilidad entre los requisitos y los productos entregados.

Dentro de la estrategia de PLM, el desarrollo de la estrategia está basado en el modelo de estandarización de procesos y documentos establecido en la norma ISO 9000[6]. De este modo dentro del curso se hace uso de diferentes formatos a fin de homologar los entregables y paquetes de trabajo liberados con el fin de la actividad.

Tabla 1 Formato Product Backlog

ID Req	Prioridad	Yo como	Deseo	Finalidad
Req_01	[Importancia del requerimiento dentro de la iteración]	[Rol respecto a interacción con maquina]	[Tarea a ser realizada por la máquina]	[Resultado esperado de la acción de máquina]
	[Importancia del requerimiento dentro de la iteración]	[Rol respecto a interacción con maquina]	[Tarea a ser realizada por la máquina]	[Resultado esperado de la acción de máquina]
Req_02				

En este formato se registrarán todos los requerimientos y acciones, tareas y/o procesos que necesitan ser realizadas por la máquina y que son requeridos para el proyecto.

Tabla 2 Formato de criterios de aceptación.

ID Requerimiento	ID Aceptación	Criterio de aceptación
Req_001	Ac_001	Caso:[Nombre Corto] Dado: [Contexto], Cuando:[Evento] Entonces :[Resultado 1] y [Resultado 2]
	Ac_002	Caso:[Nombre Corto] Dado: [Contexto], Cuando:[Evento] Entonces :[Resultado 1] y [Resultado 2]

Formato de aceptación: utilizado para evitar la subjetividad en la evaluación de cada uno de los entregables. Este se socializa y se construye con cada uno de los equipos a fin de asegurar el mismo entendimiento en cuanto a lo que es requerido y como será validado. Cada

requerimiento tendrá asociados uno(s) criterio(s) de aceptación.

Por último, se subirá toda la información para su administración y accesos a la plataforma El y este será el único ítem para el que los usuarios con rol de estudiantes solo tendrán permisos de lectura (Ver figura 4). En otras palabras, la iteración dentro de la misma no será modificada y el alcance será fijo durante su duración hasta que se tenga nuevamente una evaluación y priorización del siguiente trabajo.



Figura 4. Carga de archivos a la plataforma de administración de información.

B. Diseño técnico detallado, simulación y pruebas del diseñador

Una vez se libera el entregable de requerimientos se procede a la realización del diseño detallado. En esta etapa se desarrolla toda la documentación de los diseños de la máquina que serán construidos como respuesta a lo detallado en el levantamiento de requisitos y su priorización de trabajo para una iteración dentro del proyecto, teniendo como objetivo fundamental el desarrollo de un diseño de producto completamente definido que esté plenamente documentado para fabricación [26].

Para el desarrollo del entregable de Diseño técnico detallado de producto (DTD) se propone a los equipos de

proyecto trabajar y planear enfocados en la transformación de requerimientos, alternativas de solución existentes y arquitecturas físicas preliminares en definiciones de diseño finales e interdisciplinares con el uso de sistemas de diseño asistido por computadora (CAD, Computer aided design), Manufactura asistida por computador (CAM, computer aided manufacturing) e ingeniería asistida por computadora (CAE, computer aided engineering).

En esta etapa para garantizar asesoría continua para el estudiante se programan espacios de consulta con expertos técnicos y de manufactura, además del soporte de estudiantes auxiliares de docencia para la materia que utilizando la estrategia PLM mejoran la eficiencia de los equipos de ingeniería [12]. Con este panorama, este entregable contendrá para cada iteración:

- Documentación de diseño: Contiene los modelos 3D y planos del sub-ensamble con sus partes desarrolladas en el CAD, lista preliminar de materiales y el concepto de aprobación del docente luego de la verificación de integralidad del diseño 3D. (ver Fig.3 y Fig. 4)

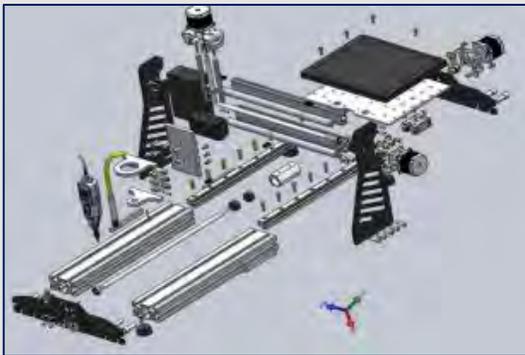


Fig. 3: Imágenes de la modelación

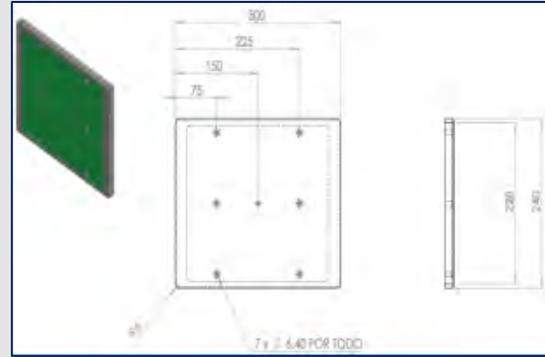


Fig. 4: planos de la máquina.

- Simulación y prueba de la funcionalidad del componente/sub-ensamble y ultimar la definición de materiales necesarios para la fabricación. En este punto se pueden identificar ajustes técnicos necesarios en cuanto a materiales, geometrías y volumen de cada una de las partes a fin de que se garantice la funcionalidad (ver Fig.5 y Fig. 6). as del diseñador: Contiene los informes de las simulaciones necesarias para la validación

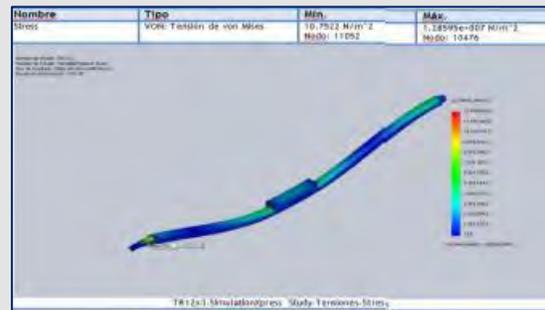


Fig. 5 Simulaciones y pruebas del simulador añadiendo material

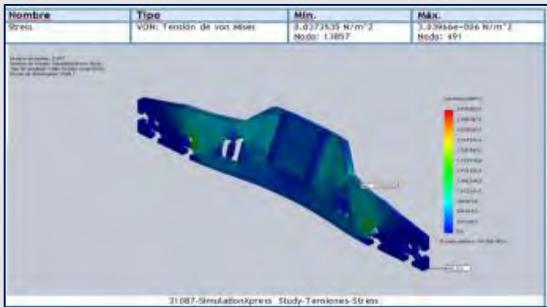


Fig. 6: Pruebas de esfuerzo del diseñador con fuerza aplicada directamente en la pieza sin adición de material.

- Liberación a Fabricación: Construcción de las cartas de proceso necesarias para la fabricación de las partes indicando: Proceso, cantidad de piezas, herramientas, maquinas herramientas utilizadas, acabados y ajustes. En este entregable se sugiere a los estudiantes entregar los códigos de Control numérico (CN) a las áreas de manufactura de la universidad a fin de lograr agilidad en los tiempos de fabricación de figuras complejas. la ventaja de este método para obtener el DTD es que con PLM se realiza una generación de valor del método de diseño de manera incremental. Es decir, cada etapa genera información vital del producto que puede llegar a ser reutilizada incrementando la colaboración y eficiencia en los diseños. (ver figura 7)



Fig. 7: Generación incremental del diseño técnico detallado con el método propuesto.

Una vez se tienen los entregables y las aprobaciones, se designa dentro de El a un líder de equipo seleccionado en cada grupo por los estudiantes. Esté a partir de este momento será el encargado de gestionar el diseño y realizar modificaciones o ajustes que sean aprobados por los docentes como parte de un control de cambios.

C. Fabricación y ensamble de componentes para prototipo

Una vez se determina y se entrega la documentación de diseño se conocen los detalles para la fabricación y puede proceder a la compra de materiales. Debido a que se trata de un entorno académico a los estudiantes se le proporcionan los elementos más costosos de la misma como lo son motores, tarjetas de interfaz, drivers y fuentes. Además, de esto se entrega también al equipo una caja de herramientas para trabajar con elementos de sujeción, cableado eléctrico, soldadura de estaño y ensamblajes en general.

Con este panorama, el equipo de proyecto es el encargado de gestionar su capacidad para realizar los mecanizados de las

piezas no comerciales y que son requeridas desde su diseño, teniendo en cuenta que: su capacidad es compartida con otras asignaturas, las maquinas herramientas son un recurso finito y los horarios de trabajo de cada taller es independiente, entre otras. Razones por la cual es útil desarrollar en el equipo de proyecto un enfoque colaborativo de gestión de su proyecto [17], lo cual es un enfoque ampliamente conocido en el entorno mundial y que ayuda a facilitar la forma de trabajar con proyectos complejos [27].

Para facilitar la gestión en la ejecución, se le brinda al estudiante un formato para que diligencie allí las tareas que se debe realizar para completar el sub-ensamble, el estado de cada tarea, fechas de cierre y responsables dentro del equipo. Dado que el tiempo en ejecución debe ser gestionado cuidadosamente y se requiere que el estudiante realice un buen manejo del mismo, en este formato se solicita diligenciar las horas efectivas que representaron un avance para el logro del objetivo y las horas no productivas que pudieron representarse, entre otras, como: tiempos de espera no planeados, transportes excesivos, re-procesos e incumplimientos por parte de proveedores, etc. (Ver Fig. 8)

UNIVERSIDAD EAFIT		Informe de Avance de Proyecto	
IPRO27 - PROYECTO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS Y EQUIPOS			
Nombre del proyecto:	Acortar CNC	Nombre de Grupo:	02
Lider del proyecto:	Katherine Mejia	Fecha de entrega (DD/MM/AAAA):	09-04-15
Tareas Planeadas:			
Fecha Comenzada (DD/MM/AAAA)	Detalle de la actividad planeada	Responsable de iniciar y cerrar de la tarea	Nombre de la persona a cargo de la tarea
09-04-15	Comprobar el funcionamiento de la placa electrónica	Alfonso	Alfonso
09-04-15	Confirmar y comprar elementos de apoyo para laminación	Katherine	Katherine
Actividades realizadas en la semana:			
Fecha de la Actividad (DD/MM/AAAA)	Actividad del Sistema	Descripción de la actividad realizada	Numero de horas dedicadas
23-03-2015	Carga de datos	Se verifico el código necesario para los roles de la mesa, y se cortaron a la medida (CNC y CNC)	2
Temas aprendidos en la semana:			
Fecha del Informe (DD/MM/AAAA)	Justificación del mismo	Tiempo Realizado	Comentarios sobre las actividades

Fig. 8: Formato de informe de avance de fabricación.

Este formato se carga semana a semana a la plataforma El para continuar alojando toda la información del proyecto de manera centralizada permitiendo tener el 100% de la información relevante del proyecto guardado en el servidor de la universidad (Ver Fig. 9). Además, al subir cada documento el sistema genera alertas automáticas a los docentes para verificar el estado de cada proyecto y ser el soporte para mitigar riesgos y aprovechar oportunidades de mejora para cada equipo.

UNIVERSIDAD EAFIT	
EAFIT Interactiva	
IPRO27 - PROYECTO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS Y EQUIPOS	
Recepción de Trabajos	
Informe de Avance 1	Fecha Inicio: 2014/02/27 01:00 P.M. Fecha Fin: 2014/06/25 08:00 A.M.
Informe de avance 2	Fecha Inicio: 2014/03/06 01:12 P.M. Fecha Fin: 2014/03/07 08:00 A.M.
Informe de avance 3	Fecha Inicio: 2014/03/12 06:09 P.M. Fecha Fin: 2014/06/05 03:00 P.M.
Informe de avance 4	Fecha Inicio: 2014/03/20 08:00 P.M. Fecha Fin: 2014/03/23 08:00 P.M.

Fig. 9: Repositorios de EAFIT Interactiva (EI) para cada entregable.

D. Planeación y ejecución de casos prueba de producto

Una vez se liberan partes del sub-ensamble fabricado, se da comienzo a la etapa de pruebas. Para esta etapa se debe comparar el componente entregado con los requerimientos del usuario en el backlog y determinar si se está alcanzando o no el criterio de aceptación. La planeación de la prueba para este contexto específico consiste en recopilar en un documento los objetivos de las pruebas (Cumplir en primera instancia con

los criterios de aceptación) y los elementos que son necesarios para poder realizarlas, junto con un criterio de salida de las mismas. Una vez se tenga este input, se procede con la construcción del diseño de la prueba en la cual los objetivos previamente escritos se transforman en casos de prueba y condiciones tangibles para la misma.

Por ultimo para realizar la prueba se procede de un modo simple. En el método propuesto se transforma cada criterio de aceptación en un escenario de prueba y un resultado esperado que elimina la subjetividad a fin de que, si se reproduce el escenario para el sub-ensamble el criterio de aceptación será cumplido si y solo si, se produce el resultado esperado de manera repetible conservando trazabilidad entre lo requerido y lo obtenido. Estos resultados se documentan en el formato de pruebas (ver Fig. 10), se cargan los resultados en la plataforma El y dependiendo de los requisitos cumplidos se determina si se continúa al siguiente ciclo (sub-ensamble) o si por el contrario se deben ajustar los elementos.

ID_Aceptacion	Reproduce el resultado esperado	Comentarios
Acp_001	[SI]/[NO]	
Acp_002	[SI]/[NO]	
Acp_003	[SI]/[NO]	

Fig. 10: Formato de resultado de pruebas.

Es importante mencionar que al estudiante se le brinda la instrucción bajo la cual debe determinar elementos críticos del componente recibido y que tendrían afectación para el usuario final. De este modo, se evita tener pruebas extensivas que puedan afectar el proyecto

en tiempos, esfuerzo y costos excesivos. Además, en estas pruebas deberán estar presentes los docentes en rol de usuarios para así aportar de manera temprana a la corrección de defectos y evitar la propagación de fallas, según Pettersson & Nilsson (2011) involucrar a los usuarios en etapas tempranas de desarrollo puede traer una reducción de defectos considerable y ajustes más ágiles dado que parte de los requerimientos se quedan en opiniones verbales (Ver Fig.11).

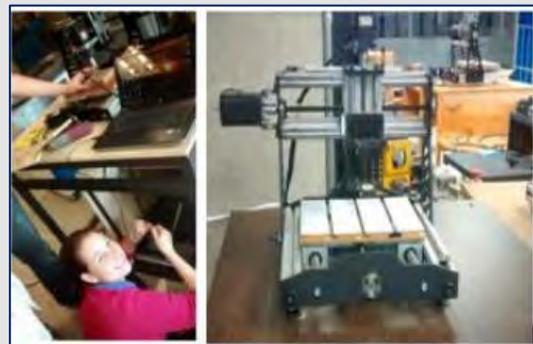


Fig. 11: Pruebas finales de aceptación al prototipo

E. Liberación, evaluación y priorización del siguiente ciclo.

La liberación es el proceso que ocurre una vez se han cumplido con los ítems más críticos para el docente y se determina que el resultado de la iteración cumple con los criterios de calidad requeridos. En la liberación puede ocurrir que como parte de la siguiente iteración se incluyan mejoras (Requerimientos) al sub-ensamble que acaba de ser liberado y se encuentra en estado funcional.

Como parte final del ciclo se toman nuevamente los requisitos para proceder con la evaluación y priorización de trabajo para las siguientes iteraciones. Esto, con

el fin de entregar de manera más rápida los ítems que agregan más valor para el usuario y seguir avanzando en el desarrollo del alcance del proyecto. En conclusión, este proceso será iterativo hasta lograr los objetivos del proyecto.

Al final cuando se tienen todas las iteraciones ensambladas, el estudiante hace una presentación (Expo-ingenierías) ante la universitaria mostrando la maquina en estado funcional durante toda la exposición.

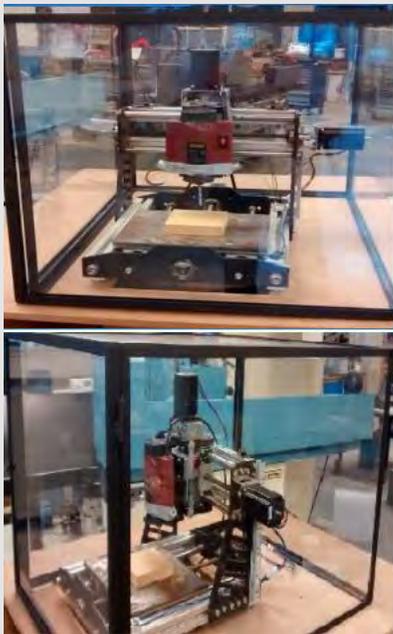


Fig. 12: Liberación del prototipo.

IV. Conclusiones

La metodología implementada con enfoque en la estrategia de PLM para el diseño y construcción de máquinas ha demostrado ser eficaz y eficiente en el uso de tiempo y recursos, permitiendo guiar a los equipos de trabajo académicos a través de un proceso iterativo con alta flexibilidad y dinamismo sin perder

trazabilidad de la información desde el inicio hasta el fin del proyecto.

En cuanto a la gestión de la información, la estrategia logró conservar el 100% de la información del proyecto en una plataforma con acceso a todos los estudiantes de manera controlada haciendo una administración básica de roles/perfiles dentro de la misma, lo cual sin restringir los permisos de lectura hacía que se pudiera dar una administración de proyectos colaborativa entre todos los interesados. Lo cual comparativamente con otras versiones de proyecto no se había logrado, no por falta de la plataforma SI, sino más bien porque nunca se le había dado el enfoque hacia PLM y la gestión de información entorno a las tecnologías CAD, CAM, CAE.

Si bien las metodologías ágiles permiten desarrollar resultados y alcanzar metas pequeñas es importante mencionar que el éxito de esta depende en gran medida de pautas o guías como las brindadas por un proceso estructurado de diseño detallado. El cual siendo bien utilizado puede brindar grandes ventajas en cuanto a reutilización de información, modelos y además garantizar trazabilidad entre conceptos y modelos físicos en 3D facilitando el trabajo colaborativo entre áreas interdisciplinarias.

El marco de fundamentación del PMI utilizado en estudiantes de semestres avanzados permite ubicar de una manera más eficiente en el que hacer del ingeniero en su vida profesional y aclarar expectativas. Si bien este marco de fundamentación es robusto, si se utiliza de manera adecuada con la información

básica que necesita el estudiante, el equipo luego será capaz de colaborar de manera conjunta en la utilización de herramientas que se ajusten a su necesidad. Además, un punto importante a mencionar es que con los conceptos homologados el estudiante termina en capacidad de comunicarse en un lenguaje común con áreas de diferentes departamentos pudiendo escalar de manera más efectiva inquietudes, alertas, sugerencias llegando inclusive a una buena administración de la priorización de tareas.

El presente caso de estudio se puede notar de manera transversal la forma en la que los equipos de proyecto y el equipo de docentes hacen uso las herramientas institucionales que tiene la universidad EAFIT para la gestión de este proyecto. Sin embargo, lo documentado en el presente artículo es escalable a otras instituciones. Para lograrlo, se sugiere hacer uso de diferentes herramientas y sistemas de información a fin de reproducir lo que se ha registrado con las mismas etapas, enfoque estratégico y metodológico. Entre las aplicaciones con las que podría utilizarse el presente enfoque se sugiere: Microsoft office 365, Openoffice, Microsoft Sharepoint, Microsoft Onedrive, Dropbox o Copy como repositorios y herramientas para el tratamiento y gestión de la documentación e información de cada uno de los proyectos y equipos.

Por último, dados los resultados observados con la estrategia PLM para este tipo de proyectos, se sugiere llevar la administración de información del producto, en conjunto con la metodología y el marco de fundamentación aplicado a un

sistema de información de PLM como: Autodesk PLM, Enovia Teamcenter, Oracle Agile PLM o SAP PLM. Los cuales teniendo tecnología de punta podrían mostrar mejores resultados al dar la oportunidad de hacer una aplicación más profunda del trabajo colaborativo e ingeniería concurrente.

Referencias

[1] Project Management Institute, Inc., Guía del PMBOK. Newtown Square, Pensilvania, 2013.

[2] B. Lee y J. Miller, «Multi-Project Management in Software Engineering Using Simulation Modelling», *Softw. Qual. J.*, vol. 12, n.o 1, pp. 59-82, mar. 2004.

[3] R. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*. México: Prentice Hall, 2006.

[4] R. Budynas, *MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*. MCGRAW-HILL, 2014.

[5] F. Mas, R. Arista, M. Oliva, B. Hiebert, I. Gilkerson, y J. Rios, «A Review of PLM Impact on US and EU Aerospace Industry», *Procedia Eng.*, vol. 132, pp. 1053- 1060, 2015.

[6] S. Ruiz Arenas, «Methodology for PLM implementations», 2012.

[7] E. Vezzetti, M. Alemanni, y J. Macheda, «Supporting product development in the textile industry through the use of a product lifecycle management approach: a preliminary set of guidelines», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 79, n.o 9-12, pp. 1493-1504, mar. 2015.

[8] N. Bouikni, L. Rivest, y A. Desrochers, «A Multiple Views Management System for Concurrent Engineering and PLM»,

Concurr. Eng., vol. 16, n.o 1, pp. 61-72, mar. 2008.

[9] R. Mejia y A. Molina, «Tecnologías de información para ingeniería concurrente», en *Ingeniería Concurrente: Una metodología integradora*, 2006.

[10] C. Ebert y J. D. Man, «Effectively utilizing project, product and process knowledge», *Inf. Softw. Technol.*, vol. 50, n.o 6, pp. 579-594, may 2008.

[11] IEEE, «IEEE Guide--Adoption of the Project Management Institute (PMI(R)) Standard A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK(R) Guide) --Fourth Edition». 2011.

[12] C. Ebert, «Improving engineering efficiency with PLM/ALM», *Softw. Syst. Model.*, vol. 12, n.o 3, pp. 443- 449, may 2013.

[13] G. Ducellier, P.-A. Yvars, y B. Eynard, «Managing design change order in a PLM platform using a CSP approach», *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM*, vol. 8, n.o 3, pp. 151-158, mar. 2014.

[14] C. Castillo y T. Lorenzana, «Evaluation of business scenarios by means of composite indicators», *Bus. Scenar. Means Compos. Indic. Fuzzy Econ. Rev.*, vol. 15, pp. 3-20, 2010. [15] H. Villa, *Un Método para la Definición de Indicadores Clave de Rendimiento con base en Objetivos de Mejoramiento / An Improvement-goal-based method for defining Key Performance Indicators*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2015.

[16] D. Barone, L. Jiang, D. Amyot, y J. Mylopoulos, «Reasoning with Key Performance Indicators», en *The Practice*

of Enterprise Modeling, P. Johannesson, J. Krogstie, y A. L. Opdahl, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 82-96.

[17] Z. Xu, X. G. Ming, W. Song, L. He, y M. Li, «Collaborative Project Management: A Systemic Approach to Heavy Equipment Manufacturing Project Management», *Syst. Pract. Action Res.*, vol. 27, n.o 2, pp. 141-164, dic. 2012.

[18] M. Alemanni, G. Alessia, S. Tornincasa, y E. Vezzetti, «Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study», *Comput. Ind.*, vol. 59, n.o 8, pp. 833-841, oct. 2008.

[19] M. G. Violante y E. Vezzetti, «A methodology for supporting requirement management tools (RMt) design in the PLM scenario: An user-based strategy», *Comput. Ind.*, vol. 65, n.o 7, pp. 1065-1075, Setiembre 2014.

[20] G. Pintzos, M. Matsas, y G. Chryssolouris, «Defining Manufacturing Performance Indicators Using Semantic Ontology Representation», *Procedia CIRP*, vol. 3, pp. 8- 13, 2012.

[21] J. L. R. Ochoa, J. L. B. Pérez, y L. F. Z. Rivera, «Resultados experimentales de la aplicación de un sistema de evaluación dinámico en la asignatura de Estática», *Lat. Am. Caribb. J. Eng. Educ.*, vol. 7, n.o 1, ago. 2013.

[22] Project Management Institute, Inc., «PMI: Código de Ética y Conducta Profesional del Project Management Institute». 2006.

[23] I. Sommerville, *Software Engineering*, Ninth. Pearson education Inc., 2010.

[24] T. Dingsøy, S. Nerur, V. Balijepally, y N. B. Moe, «A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development», J. Syst. Softw., vol. 85, n.o 6, pp. 1213-1221, jun. 2012.

[25] L. Tal, «Building the Product Backlog», en Agile Software Development with HP Agile Manager, Apress, 2015, pp. 53-70.

[26] «Diseño detallado», soporte PTC. [En línea]. Disponible en: http://support.ptc.com/WCMS/files/43561/es/2071_Det_Design_EVRM_TS_ES.pdf.

[27] S. Cirella, M. Guerici, y A. B. (Rami) Shani, «A Process Model of Collaborative Management Research: The Study of Collective Creativity in the Luxury Industry», Syst. Pract. Action Res., vol. 25, n.o 3, pp. 281-300, nov. 2011.

Publicado en: **14 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability", 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.**

DISEÑO DE UNA LINEA DE PRODUCTOS PARA NIÑOS DISCAPACITADOS Y SU PRODUCCIÓN CON TÉCNICAS DE MANUFACTURA AVANZADA

Carlos Mario Echeverri Cartagena, Carlos Arturo Rodríguez, Paola Rodríguez Bechara, Diana Sofía Buelvas Brunal, Rosalyn Díaz Riaño

Resumen:

En el siguiente trabajo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto de diseño y fabricación de tres juegos didácticos destinados a la implementación de la metodología de comunicación aumentativa para niños con discapacidad motora utilizando el método de colado al vacío de resinas como solución para fabricación de series cortas.

Palabras claves: Comunicación Aumentativa, Motricidad Fina, Motricidad gruesa, Colado al vacío, Rapid Tooling, Rapid Prototyping

Introducción

La Comunicación Aumentativa es la metodología más utilizada en el mundo para la enseñanza especializada en niños con discapacidades.

El uso de esta metodología pretende fortalecer las áreas de cognición y comunicación en los niños que presentan discapacidades motoras que impide realizar su proceso de comunicación adecuadamente, dicha metodología requiere la utilización de recursos de comunicación alternativos como productos que permitan por medio de señales interactuar con el usuario promoviendo los medios por los cuales puedan generar una respuesta válida a los procesos de enseñanza (Basil, 1998, p.10) Dada la relación tan latente que tiene la aplicación de la metodología con la

obtención de material didáctico, la poca oferta de productos en nuestro medio frustra la posibilidad de innovar y de hacer más versátil el proceso de enseñanza para las instituciones especializadas.

Por lo anterior se pretende desarrollar una propuesta para construir una idea de diseño basada en una oportunidad de negocio que permita establecer una intención clara del sector por la obtención de estos productos. Dicha propuesta solo puede ser viable si se logra construir un sistema de series cortas de producción que permita responder dinámicamente a la demanda de este sector tan especializado.

Se expondrá la fase de solución a una situación de un sector específico por medio de una línea de productos que cumpla con los requerimientos de calidad

y diseño con un sistema de producción eficiente.

- **Descripción del Problema.**

La deficiente comunicación entre la población de niños con discapacidad motora causada por diversos síndromes o enfermedades congénitas y su entorno social acarrea sentimientos de frustración entre las partes incluidas en el proceso comunicativo. Dado que el mensaje transmitido por alguna de estas partes se distorsiona o en el peor de los casos no se efectúa; los padres y terapeutas incluidos en este proceso se encuentran en una búsqueda constante de soluciones que permitan implementar ayudas terapéuticas que afiancen el proceso de interacción con estos niños. (Pham, 2001, p.2000)

En Colombia no existen centros tecnológicos especializados que diseñen y brinden herramientas sistematizadas construidas bajo tecnologías que satisfagan los percentiles y necesidades educativas especiales de los niños en el ámbito de estimulación visual y auditiva y el desarrollo de la comunicación.

Además del uso de juegos didácticos que incluyan procesos interactivos que permitan estimular la respuesta del niño, el computador se ha convertido en una herramienta esencial para comunicarse, aprender y divertirse en forma autónoma y con la independencia necesaria para equivocarse y sacar provecho de sus errores. Pero a pesar de ser una gran ayuda, ya que el computador permite desarrollar habilidades de escritura, lenguaje y manejo de la comunicación, la principal barrera a la cual se enfrentan es

el acceso a este tipo de tecnologías, ya que para acceder a estas, el niño con discapacidad requiere ayudas técnicas o algún dispositivo que compense sus carencias, ya sea motriz, cognitivas, visual o auditiva según el nivel de deficiencia de cada niño y que lo estimulen por medio de formas, texturas, colores y sonidos.

Imagen 1. Algunos de los productos importados que encuentras las instituciones y padres de familia para implementar metodologías de enseñanza con sus hijos. La comunicación visual de los productos existentes no genera un estímulo para el niño discapacitado “dice: Berta Brunal – Directora de la fundación ACONIÑO en Bogotá.



Partiendo de la necesidad latente de creación de productos para este sector de la población se hace necesario plantear una solución óptima para el problema del usuario basada en un proceso válido de materialización que permita llevar el producto al usuario final de una manera eficiente con un proceso de producción que garantice la fidelidad del producto final con la propuesta de diseño.

2. **Solución Planteada.**

Como antecedente al planteamiento de este proyecto, se diseñó un tablero electrónico, el cual consistía en un medio para asociar imágenes con sonidos

mediante métodos propuestos por diversos terapeutas.

Teniendo el prototipo del producto de dispuso a analizar diversos métodos de producción que garantizaran el buen desempeño del producto con relación al material, sistemas de ensamble, compatibilidad con diversos pigmentos y su respectiva viabilidad. En el análisis de alternativas de producción se partió de la base de la existencia de dos factores limitantes: El reducido tamaño del sector y la falta de datos consistentes sobre las compras de estos productos.

Dichos factores evitaban establecer una variable certera sobre la demanda que permitiera definir que cantidad de productos sería adecuado para proceder a analizar por el estudio técnico. Debido a la falta de compatibilidad entre la calidad y el costo en diversos procesos, se procedió a realizar el presente proyecto con el fin de tomar un método de prototipaje rápido como una alternativa para la fabricación de productos con un alto valor agregado que estén dirigidos a un sector especializado.

Imagen 2. Prototipo de TEO un juego electrónico para niños con discapacidad fabricado en el centro mecanizado MILTRONICS de la Universidad EAFIT.



Paralelos a los métodos tradicionales de manufactura, se encuentran las técnicas de manufactura rápida, dentro de las cuales están La Fabricación Rápida de Herramental (Rapid Tooling) y el Prototipaje Rápido (Rapid Prototyping). Este último es una tecnología que posibilita producir modelos y productos directamente a partir del modelo CAD 3D a diferencia de los procesos de fabricación convencionales que sacan material de la pieza en bruto para obtener el modelo deseado y además requieren grandes volúmenes de producción para validar la técnica y ser rentables; el Prototipaje Rápido es un procedimiento que va directamente del diseño al molde de producción en serie disminuyendo costos y agilizando el proceso. A medida que el Prototipaje Rápido ha ido mejorando el cuanto a las propiedades de los materiales, la precisión, el costo y el tiempo que se demora de pasar de un proceso a otro “lead times”, ha ido permitiendo que esta técnica sea empleada para la fabricación de herramientas tales como moldes dando origen al “Rapid Tooling”, esta técnica permite construir herramientas para fabricar bajas series de productos en el mismo material o en un material similar al deseado para el producto final, además de permitir reducir el tiempo que demora en salir un determinado producto al mercado. (Binnard, 1999, p.45).

Dentro del gran grupo de técnicas de prototipaje se encuentra el colado al vacío de resinas, esta parte de la fabricación de un molde en un material polimérico, metálico o cerámico según los requerimientos de la pieza en el cual es inyectado por medio de una cámara de

vacío diversos materiales poliméricos en estado líquido como lo son el poliuretano, las resinas epóxicas, vinilester o poliéster. La selección del material a vaciar o colar depende de las propiedades mecánicas requeridas por la pieza y las reacciones químicas y físicas a las que se enfrenta el material en el proceso (Chua, 2000, p.65).

De esta manera se pretende validar la anterior técnica para la producción de series cortas para el sector de la didáctica lúdica para discapacitados el cual demanda una serie de productos de gran importancia dentro de su contexto pero que a su vez solo requiere lotes pequeños de fabricación.

2. Propuesta de Diseño.

El proceso de enseñanza basado en la metodología de la comunicación aumentativa involucra diversos medios para la implementación de metodías de aprendiza estimulando los medios alternativos para realizar el proceso de comunicación.

Debido a que las discapacidades motoras en los niños son muy diversas se quiso desarrollar una línea de productos que abarcara una gran parte de la población teniendo en cuenta sus limitaciones para interactuar con ciertos dispositivos.

La línea de productos se planteó como una serie de interfaces de juegos didácticos para ser utilizadas independientemente o con juegos estándar.

En la actualidad existen múltiples softwares que recrean situaciones de la cotidianidad para que el usuario se familiarice por medio de imágenes con algunos conceptos que constituyen su vida

diaria, existen dispositivos que permiten la comunicación del usuario que no puede utilizar un click convencional debido a algunas discapacidades, estos dispositivos son llamados clicks y permiten la comunicación con el usuario por medio de mecanismos que se adaptan a diversas discapacidades. Los clicks serán destinados a usuarios con dos tipos de: fina y gruesa.

La discapacidad motriz fina consiste en la dificultad para manipular objetos pequeños. La discapacidad motriz gruesa se relaciona con la falta de control en los movimientos y en la fuerza que se ejerce en estos.

Imagen 3. Ejemplo de discapacidad motriz fina

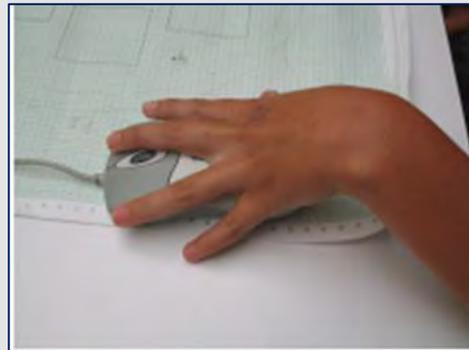


Imagen 4. Ejemplo de discapacidad gruesa



También existen dispositivos electrónicos como comunicadores los cuales permiten

por medio de software incluidos transformar las letras de un teclado por voces que emitan el sonido del cual el niño está impedido a emitir.

Dada la importancia que tiene el trabajo con el computador se quiso desarrollar dos click que permitan la interacción del niño con estos en los diversos programas de aprendizaje y que tenga un lenguaje formal que estimule al niño a trabajar con él.

Para complementar el trabajo con el computador se optó por la creación de un dispositivo independiente que permitiera al usuario asociar imágenes con sonidos y verse estimulado en el acierto de sus decisiones. Este dispositivo necesita de medios para activarlo que se adapten a diversas discapacidades por esto se optó por crear compatibilidad con los click mencionados anteriormente para que se puedan accionar de diferentes formas.

3. Detalles de Ingeniería.

Después de definido el concepto de la línea de productos se procedió a realizar la definición de detalles de ingeniería para realizar la modelación tridimensional en el software CAD SOLIDWORKS del prototipo que serviría como base para la obtención de los moldes para ejecutar el modelo de producción.

El primer paso fue la fabricación de un modelo CAD que permitiera generar un modelo tridimensional que permitiera generar un modelo CAM en el software MASTERCAM compatible con los requerimientos de programación del centro de mecanizado vertical Milltronics

VM16 disponible en el Laboratorio de Maquinas Herramientas.

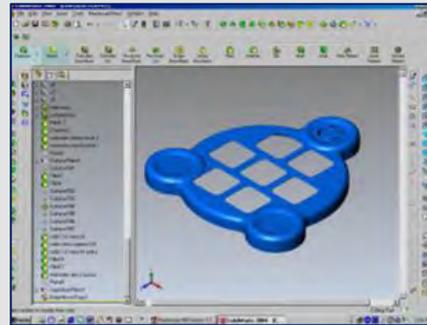


Imagen 5. Modelación tridimensional del tablero Electrónico

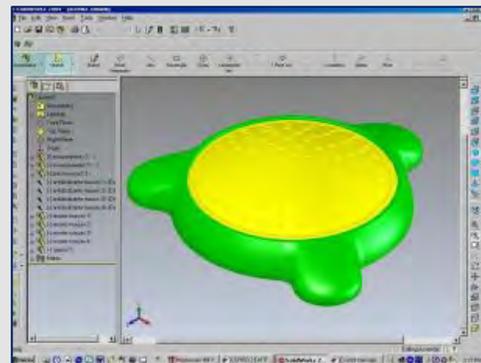


Imagen 6. Modelación del Mouse para discapacidad motriz fina

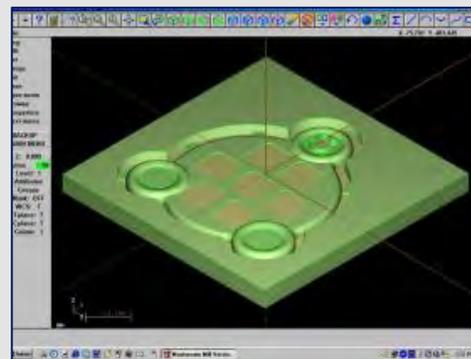


Imagen 7. Generación de recorridos de herramientas en CAM.

4. Fabricación de prototipos:

Imagen 8. Fabricación del prototipo para el tablero electrónico



Imagen 9. Fabricación del prototipo para el mouse para discapacidad motriz fina en el Centro de Maquinado Vertical CNC del Laboratorio.

Paralelamente al mecanizado de los prototipos se procedió a realizar pruebas mecánicas a probetas de las diferentes resinas a utilizar para verificar las propiedades requeridas para el desempeño de productos en: sistemas de ensamble y requerimientos de calidad.

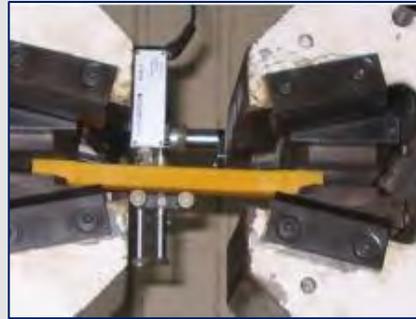


Imagen 10. Pruebas mecánicas realizadas sobre resinas poliéster cristalan 809 y 872

5. Resultados:

Previamente a la obtención de los moldes para el vaciado de resina se realizaron moldes de prueba para piezas pequeñas que permitieron ver el desempeño de las diferentes resinas en el llenado del molde.

Una vez obtenidos los moldes finales se procedió a analizar el desempeño del material frente a los requerimientos del producto: (color, forma, apariencia, texturas, propiedades mecánicas).

6. Conclusiones.

El uso de silicona de dureza 40 es adecuado para los moldes de uso repetitivo por sus propiedades de resistencia al desgaste y al ataque químico.

Las resinas poliéster como cristalan 809 y 872 fabricadas por ANDERCOL proporcionan un acabado aceptable para un producto final sin embargo el manejo del pigmento debe manejarse adecuadamente por necesitar precisión

para la obtención del tono de color deseado.

Los poliuretanos proporcionan buenas características mecánicas y fidelidad en los acabados, sin embargo, hay que adaptarse a los pigmentos existentes para su acabado.

Es posible mediante la utilización de técnicas de prototipaje rápido disponibles en el medio nacional tales como impresión tridimensional, maquinado de resinas en máquinas CNC y la fabricación de moldes en caucho silicona fabricar series cortas de producción para productos especializados o segmentos del mercado muy definidos como en este caso.

7. Agradecimientos.

Los autores expresan su agradecimiento al Laboratorio de Maquinas herramientas de la Universidad EAFIT por el apoyo en el uso de equipos y materiales para este proyecto.

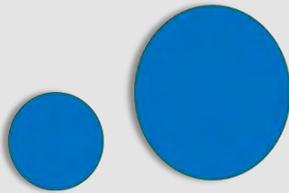
8. Bibliografía.

- VON TETZCHNERS, S., MARTINSEN, H.: Introducción a la enseñanza de signos y al uso de ayudas técnicas para la comunicación. Madrid: Aprendizaje - Visor, 1993.

- BASIL, Carmen y PUIG, Ramón. Comunicación Aumentativa. Curso sobre sistemas y ayudas técnicas de comunicación no vocal. Madrid, España. 1998
- PHAM, D.T Y DIMOV, S. S. Rapid Manufacturing. London: Springer - Verlag, 2001.
- BINNARD, Michael. Designó By Composition For Rapid Prototyping. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- CHUA, Chee Kai y LEONG, Kah Fai. Rapid Prototyping. Singapore: World Scientific, 2000.

Publicado en: Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI), Sena, Mayo 8 – 9, 2015

PARTICIPACIÓN EN EVENTOS Y PROYECTOS



AÑO 2018

**ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2018**

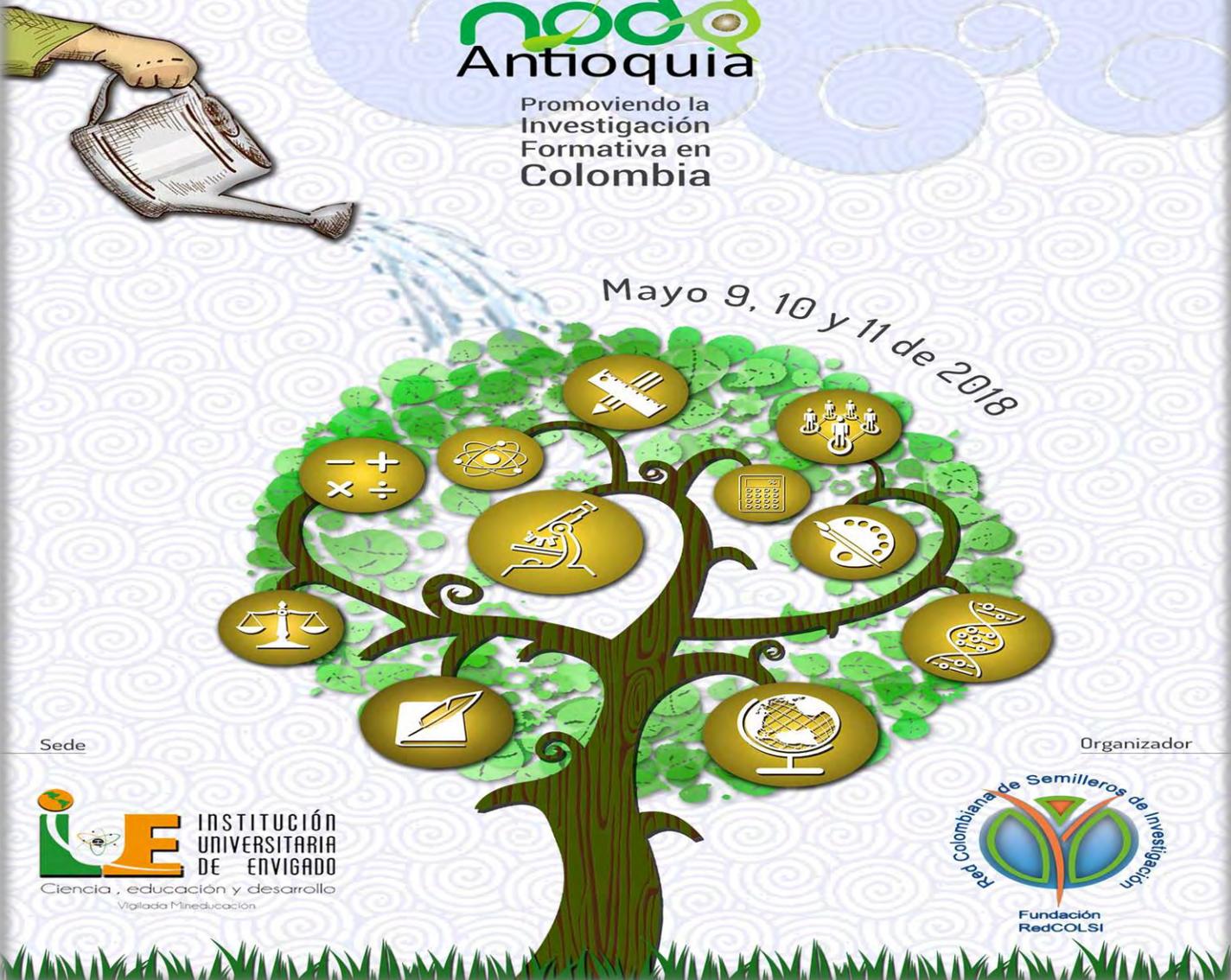
**XVII ENCUENTRO DEPARTAMENTAL
de SEMILLEROS de INVESTIGACIÓN**



**nodo
Antioquia**

Promoviendo la
Investigación
Formativa en
Colombia

Mayo 9, 10 y 11 de 2018



Sede



**INSTITUCIÓN
UNIVERSITARIA
DE ENVIGADO**

Ciencia, educación y desarrollo
Vigilada Mineducación

Organizador



Red Colombiana de Semilleros de Investigación

Fundación
RedCOLSI

AÑO 2018

PROYECTO:

Buenas prácticas de manufactura (BPM) para alcanzar la certificación global G.A.P para pequeños agricultores de aguacate Hass en El Retiro Antioquia



Ponentes:

Ana Maria Escobar
Isabel Cristina Ramirez

AÑO 2017

**ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2017**



Encuentro Departamental de
**Semilleros de
Investigación**
RedCOLSI Nodo Antioquia
18-20 Mayo de 2017, Universidad de Antioquia

AÑO 2017

PROYECTO

Aplicación de herramientas de Lean Farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño



PONENTES

- Ana María Escobar López
- Santiago Aguirre Martínez



AÑO 2016

**ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2016**

XV
15 años

**ENCUENTRO DEPARTAMENTAL
SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN
2016**

Mayo 6 y 7 de 2016
Sede Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín

explora, expande, conecta tu mundo: investiga



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**



**NODO
ANTIOQUIA**
LA CULTURA DE LA CALIDAD Y LA INNOVACIÓN

AÑO 2016

PROYECTO

Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura



PONENTES

- Ana María Escobar López
- Santiago Aguirre Martínez



AÑO 2016

**ENCUENTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 201**



Red Colombiana de Semilleros de Investigación
Fundación RedCOLSI

RedCOLSI
Nodo Norte de Santander

UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

**XIX ENCUENTRO NACIONAL Y
XIII INTERNACIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN**

Universidad Simón Bolívar - Cúcuta del 13-16 de Octubre de 2016

AÑO 2016

PROYECTO

Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura



PONENTES

- Ana María Escobar López
- Santiago Aguirre Martínez

AÑO 2016

**ENCUENTRO INTERNACIONAL DE EDUCACIÓN EN
INGENIERIA (ACOFI)**



**Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI**

**Innovación en las facultades de ingeniería:
el cambio para la competitividad y la sostenibilidad**

Centro de Convenciones Cartagena de Indias

4 al 7 de octubre de 2016

AÑO 2016

PROYECTO:

Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura



PONENTES:

- Santiago Aguirre Martínez
- Ana María Escobar López



AÑO 2016

**LACCEI INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE
FOR ENGINEERING, EDUCATION, AND
TECHNOLOGY**

**San José,
Costa Rica
July 20 to 22, 2016**

**XIV LACCEI International Multi-Conference
for Engineering, Education, and Technology**
"Engineering Innovations for Global Sustainability"



LACCEI 2016

Call for Papers
The conference will accept manuscripts in English, Spanish, Portuguese or French. There will be three types of submissions:

Full Paper	Maximum 10 pages, double blind peer review, published with ISBN, ISSN, DOI, indexed by ISI/SCOPUS, submitted for indexing in Scopus, archived online.	New Date: March 1
Extended Abstract	Maximum 2 pages, single blind peer review, published with ISBN, ISSN and archived online. Presented as a poster.	New Date: March 1
Student Paper	Student authored, maximum 10 pages, published with ISBN, ISSN, archived online, and submitted for competition.	New Date: March 1

For submission instructions visit:
www.laccei.org/submit

Conference web site:
www.laccei.org/conference

AÑO 2016

PROYECTO:

Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM:
caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la
facultad de ingeniería



Ponente:

- Jorge Esteban Montoya



AÑO 2015

ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2015



XIV ENCUENTRO DEPARTAMENTAL SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

SENA Medellín Mayo 8 y 9

2015

“SOMOS NODO DE CONOCIMIENTO Y PAÍS”

El encuentro busca generar un espacio dinámico en red para la socialización, aprendizaje y discusión desde el intercambio de conocimiento producido en los semilleros de Investigación de las Instituciones adscritas a REDCOLSI Nodo Antioquia.

Sede SENA Seccional Antioquia Calle 51 No. 57 – 70 Medellín

Inscripción de experiencias, talleres, evaluadores, hasta 14 de Abril de 2015



NODO ANTIOQUIA
RED COLOMBIANA DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

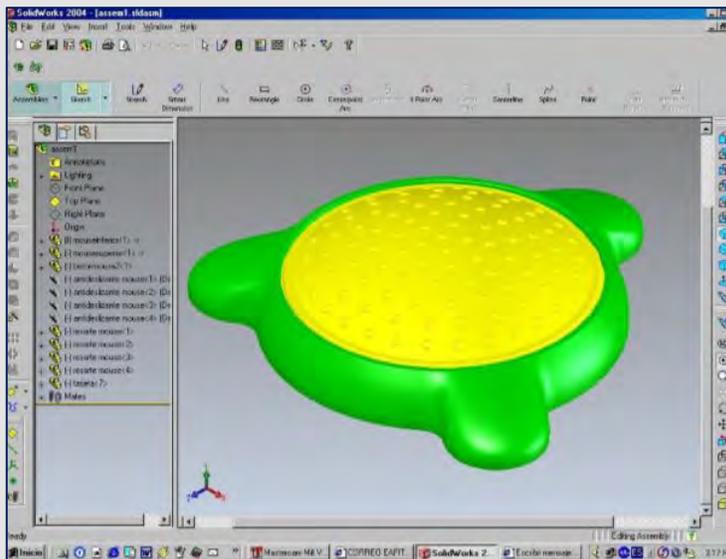


Para mayor información contacte a su delegado institucional ante REDCOLSI Nodo Antioquia - www.fundacionredcolsi.org Nodoantioquia@fundacionredcolsi.org
Hugo Fernando Ripoll De La Barrera hripoll@sena.edu.co

AÑO 2015

PROYECTO

Diseño de una línea de productos para niños discapacitados y su producción con técnicas de manufactura avanzada



PONENTES

- Diana Sofia Buelvas Brunal
- Rosalyn Diaz Riaño



AÑO 2014

**ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2014**

**XIII ENCUENTRO
DEPARTAMENTAL**

SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN NODO ANTIOQUIA
2 y 3 de Mayo de 2014

LUGAR:

*Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Carrera 48 N° 7 -151 Medellín / Colombia*

INSCRIPCIÓN:

*Inscripción de proyectos,
talleres y experiencias: 5 de Abril
Valor ordinario hasta: 23 de Abril*

VALORES:

	ORDINARIO:	EXTRAORDINARIO:
<i>Estudiantes básica:</i>	<i>\$ 15.000</i>	<i>\$ 15.000</i>
<i>Estudiantes técnicas:</i>	<i>\$ 35.000</i>	<i>\$ 35.000</i>
<i>Estudiante pregrado:</i>	<i>\$ 45.000</i>	<i>\$ 45.000</i>
<i>Profesionales:</i>	<i>\$ 55.000</i>	<i>\$ 55.000</i>



**NODO
ANTIOQUIA**

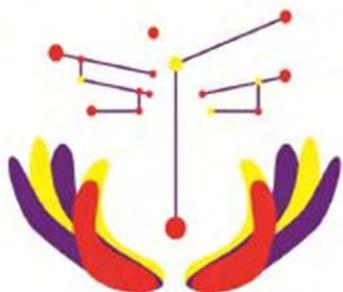


**POLITÉCNICO COLOMBIANO
JAIME ISAZA CADAVID**

AÑO 2013

ENCUENTRO REGIONAL DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2013

Construyendo red, Creando conocimiento



XII

Encuentro Regional de
SEMILLEROS
de investigación

RedCOLSI - Nodo Antioquia
2, 3 y 4 Mayo de 2013

LUGAR:

Corporación Universitaria Lasallista
Carrera 51 N°118Sur - 57 Caldas, Antioquia

FECHAS:

Inscripción de proyectos: 12 de abril de 2013
Pago ordinario asistentes: 15 de Abril

PAGOS:

Estudiantes básica: \$15.000
Estudiante pregrado: \$40.000
Profesional: \$50.000

NODO
ANTIOQUIA
EN CIENCIA Y TENDENCIAS



CORPORACIÓN
UNIVERSITARIA
LASALLISTA
Lleva el conocimiento
por siempre

AÑO 2013

PROYECTO:

Metodología de mantenimiento de moldes de inyección



PONENTES:

- Jorge Esteban Montoya Cano
- Andrés Felipe Álzate Graciano



AÑO 2013

**ENCUENTRO NACIONAL DE SEMILLEROS DE
INVESTIGACIÓN (REDCOLSI) 2013**

**XVI ENCUENTRO NACIONAL
y X INTERNACIONAL**

DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN REDCOLSI

**CIENCIA, INNOVACIÓN Y JUVENTUD,
PILARES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL
CONOCIMIENTO**

**DEL 10 AL 13 DE
OCTUBRE**

**UNIVERSIDAD DE
CÓRDOBA**



INSCRIPCIONES

Proyectos de investigación del
29 de julio al 30 de agosto

Inscripción ordinaria del 29 de julio
al 30 de septiembre

Mayor información
encuentronacional@fundacionredcolsi.org

**MONTERIA
2013**



nod
CÓRDOBA Fundación RedCOLSI



PROYECTO

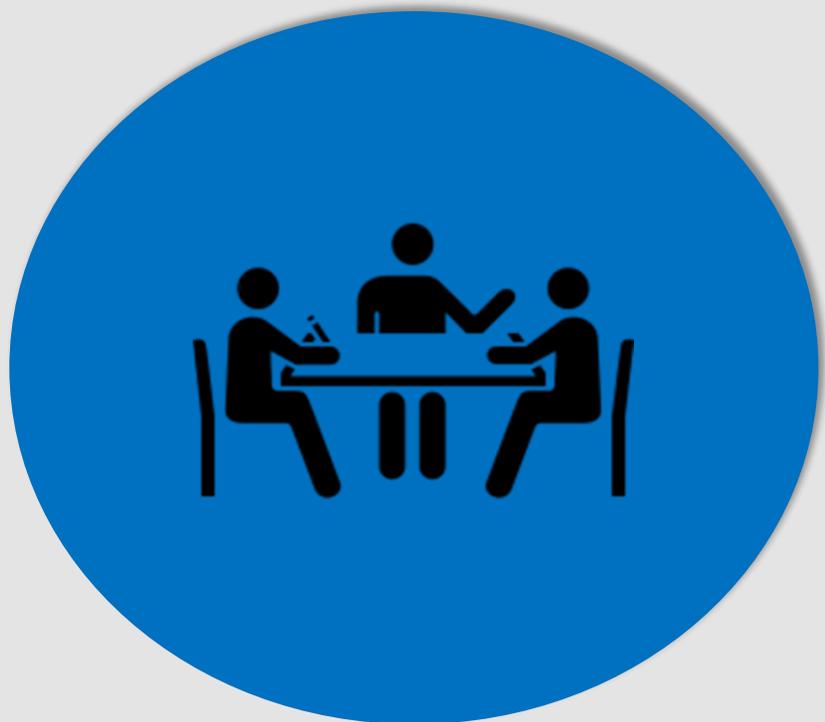
Metodología de mantenimiento de moldes de inyección.



PONENTES

- Jorge Esteban Montoya Cano
- Andrés Felipe Álzate Graciano

INTEGRANTES DEL SEMILLERO GEIMA



INTEGRANTES DEL SEMILLERO



VIGENTES:

Santiago Aguirre Martínez, Ana María Escobar López, Isabel Cristina Ramirez Gonzalez, Andrés Felipe Sepúlveda Leal, María Fernanda Palacio y Samuel Vásquez Gonzalez.

GRADUADOS:

David Clavijo Posada, Andrés Felipe Giraldo Cardona, Sebastián López Duque, Maximiliano Martínez Cadena, Juan David Muñoz Correa, Santiago Narváez Lombana, Mariana Parra Zapata, Ana María Tamayo Correa, Santiago Zapata Silva y Laura María Pineda.

INTEGRANTES DEL SEMILLERO



Ana María Escobar López

Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT y actual coordinadora del semillero, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2015, mientras cursaba el segundo semestre, desde entonces se desempeña como monitora de la materia Elementos de Máquinas y Equipos, por otra parte ha participado en diferentes eventos y talleres que potencian sus conocimientos en investigación, entre los que están ponencias organizadas por la Red Colombiana de Semilleros de investigación (REDCOLSI) y la Asociación Colombiana de Facultades de ingeniería (ACOFI), logrando en este último la publicación de un artículo a nivel nacional, además de la participación en talleres brindados por el área de pequeños proyectos de la universidad EAFIT a integrantes de semilleros de investigación.

PROYECTOS

- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alcanzar la certificación GLOBAL G.A.P para pequeños agricultores de aguacate hass en el retiro Antioquia
- Aplicación de herramientas lean farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño
- Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura
- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2016
- Encuentro nacional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2016
- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2017

PONENCIAS

- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI), Universidad de Envigado, Mayo 9-11,2018
- Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI, Cartagena de indias, Octubre 4 - 7,2016

PUBLICACIONES

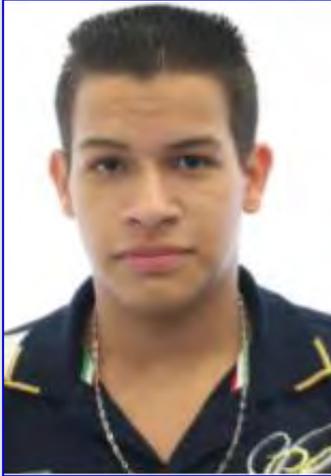
- Artículo ACOFI, Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura

IDIOMAS

- Inglés
- Francés
- Alemán
- Español

INTEGRANTES DEL SEMILLERO

Santiago Aguirre Martínez



Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2015 mientras cursaba el primer semestre, desde entonces se desempeña como monitor de la materia Elementos de Máquinas y Equipos, por otra parte ha participado en diferentes eventos y talleres que potencian sus conocimientos en investigación, entre los que se encuentran ponencias organizadas por la Red Colombiana de Semilleros de investigación (REDCOLSI) y la Asociación Colombiana de Facultades de ingeniería (ACOFI), logrando en este último la publicación de un artículo a nivel nacional, además de la participación en talleres brindados por el área de pequeños proyectos de la universidad EAFIT a integrantes de semilleros

de investigación.

PROYECTOS

- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alcanzar la certificación GLOBAL G.A.P para pequeños agricultores de aguacate hass en el retiro Antioquia
- Aplicación de herramientas lean farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño
- Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura

PONENCIAS

- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI), Universidad de Envigado, Mayo 9-11,2018

- Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI, Cartagena de indias, Octubre 4 - 7,2016
- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2016
- Encuentro nacional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2016
- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI) 2017

PUBLICACIONES

- Articulo ACOFI, Metodología PMI aplicada a proyectos de manufactura

IDIOMAS

- Ingles
- Español

INTEGRANTES DEL SEMILLERO

Isabel Cristina Ramirez Gonzalez



Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2017, mientras cursaba el tercer semestre, desde entonces se desempeña como monitora de la materia Elementos de Máquinas y Equipos, además ha participado en diferentes talleres brindados por el área de pequeños proyectos de la universidad EAFIT a integrantes de semilleros de investigación, lo cual le ha permitido obtener bases sólidas para la generación de nuevos proyectos a presentar frente a la Red Colombiana de Semilleros De Investigación (REDCOLSI).

PROYECTOS

- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alcanzar la certificación GLOBAL G.A.P para pequeños agricultores de aguacate hass en el retiro Antioquia
- Aplicación de herramientas lean farming para pequeños caficultores en el suroeste antioqueño

PONENCIAS

- Encuentro regional de semilleros de investigación (REDCOLSI), Universidad de Envigado, Mayo 9-11,2018

PUBLICACIONES

--

IDIOMAS

- Ingles
- Español

INTEGRANTES DEL SEMILLERO



Samuel Vásquez Gonzalez

Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2017 mientras cursaba el segundo semestre, desde entonces se desempeña como aprendiz de la materia Proyecto de Elementos de máquinas y Equipos, la cual es dictada en el octavo semestre de la carrera de ingeniería de producción, lo que le ha permitido ampliar sus conocimientos en cuanto a la realización de proyectos mediante la utilización de metodologías para la gestión de los mismos.

PROYECTOS

- Biblioteca móvil

IDIOMAS

- Ingles

- Español

PUBLICACIONES

--

Andrés Felipe Sepúlveda Leal



Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2016, mientras cursaba el tercer semestre, desde entonces se desempeña como monitora de la materia Proyecto de Elementos de máquinas y Equipos, la cual es dictada en el octavo semestre de la carrera de ingeniería de producción, lo que le ha permitido ampliar sus conocimientos en cuanto a la realización de proyectos mediante la utilización de metodologías para la gestión de los mismos.

PROYECTOS

- Farmbot

IDIOMAS

- Ingles
- Español

PUBLICACIONES

INTEGRANTES DEL SEMILLERO

María Fernanda Palacio Castro



Es estudiante de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2016 mientras cursaba el tercer semestre, desde entonces se desempeña como monitora de la materia Proyecto de Elementos de máquinas y Equipos, la cual es dictada en el octavo semestre de la carrera de ingeniería de producción, lo que le ha permitido ampliar sus conocimientos en cuanto a la realización de proyectos mediante la utilización de metodologías para la gestión de los mismos.

CURSO

- Flexim

PROYECTOS

- Farmbot

IDIOMAS

- Ingles
- Español

PUBLICACIONES

--

Laura María Pineda Cardona



Es egresada de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, permaneció en el semillero GEIMA del año 2016 al año 2017, en los cuales se desempeñó como monitora académica.

CURSO

- Flexim
- Excel
- Visio

- Español

PUBLICACIONES

- Arduino
- Matlab

IDIOMAS

- Ingles

INTEGRANTES DEL SEMILLERO

Daniel Burgos Castrillón



Es estudiante de Ingeniería mecánica de la universidad EAFIT, ingresó en el semillero GEIMA en el año 2018, desde entonces se desempeña como. Investigador y escritor de artículos para publicación, lo cual le ha permitido ampliar sus conocimientos en cuanto a temas relacionados con metodologías y realización de proyectos de investigación

PARTICIPACIÓN EN

INVESTIGACIÓN

- Laboratorio de CAD CAM CAE en la Universidad EAFIT Medellín, Colombia.
- Grupo de Investigación de Energía y Cambio Climático 2016-2016 en el "Instituto tecnológico de estudios superiores de Monterrey - ITESM "Monterrey, México.

- Estudios de mantenimiento industrial

IDIOMAS

- Inglés
- Español

PUBLICACIONES

--

Ana María Tamayo Correa



Es egresada de Ingeniería de producción de la universidad EAFIT, permaneció en el semillero GEIMA del año 2012 al año 2015, en los cuales se desempeñó como monitora académica e investigativa.

Estudios

- Especialización en dirección de operaciones y logística, Universidad EAFIT, 2016
- Estudio del lenguaje inglés, Vancouver, Canada, 2015
- Excel avanzado; Universidad EAFIT, 2014

- Seminario de planeación de ventas y operaciones, 2014

IDIOMAS

- Inglés
- Español



UNIVERSIDAD
EAFIT

Vigilada Mineducación