

# UNIVERSIDAD EAFIT

Escuela de Ingeniería

Grupo de Investigación en Ingeniería de Diseño (GRID)



## **Modelo de integración de la Gestión de Procesos de Negocio (BPM) y la Gestión del Ciclo de vida del Producto (PLM) en el diseño de pequeños aerogeneradores (SWT)**

Manuscrito presentado como requerimiento parcial para obtener el título de:

**Maestría en Ingeniería**  
Modalidad “*Profundización*”

*(Borrador: Versión 02/11/2017)*

AUTOR:

**Ing. Carlos Eduardo Palacio Laverde**

ASESOR:

Ricardo Mejía-Gutiérrez, PhD.

Noviembre 2017





## RESUMEN

El proyecto presenta la integración de las metodologías de Gestión de procesos (BPM) y la Gestión del ciclo de vida del producto (PLM) para proponer un modelo que permita estandarizar el diseño de pequeños aerogeneradores. Para ello se establece una relación entre las metodologías de gestión de procesos, aplicando las cadenas de gestión que formalizan el diseño del flujo del proceso y la gestión del ciclo de vida del producto en donde se implementa la gestión documental del ciclo de vida y del flujo de trabajo, además de la aplicación de las herramientas CAD, CAE y CAM. Para lograr el objetivo se aplica el software ARIS Express para el desarrollo de los flujos del proceso y ARAS Innovator. para el desarrollo de los ciclos de vida y flujos de trabajo. En la aplicación del software Aris Express se muestra el diseño de dos procesos, el primero el estudio del lugar y el segundo, el diseño del pequeño aerogenerador. Para la construcción del modelo se tomó como referencia las metodologías de diseño publicadas en la literatura, donde se presentan el diseño de pequeños aerogeneradores, o el análisis de estos, pero no se propone un modelo en donde se integren de forma colaborativa la gestión de los procesos y la gestión del ciclo de vida de manera que permita establecer una estandarización en el proceso de diseño de pequeños aerogeneradores. La construcción del modelo se aplicó en un caso de estudio donde se muestra la integración en forma colaborativa de la Gestión de los procesos y la Gestión del ciclo de vida del producto y la aplicación de las herramientas propias de la ingeniería del diseño de pequeños aerogeneradores.

Palabras Clave: Gestión de procesos (BPM), Ciclo de vida del Producto (PLM), pequeños aerogeneradores (SWT)

## ABSTRACT

The project presents the integration of methodologies such as Business Process Management (BPM) and Product Life Cycle Management (PLM) to propose a model that allows standardizing the design of small wind turbines. To do this, a relationship is established between the process management methodologies applying the management chains where the process flow design and the product life cycle management are shown, showing the life cycle and flow design in addition to the application of CAD, CAE and CAM tools. To achieve this objective, ARIS Express software for the development of process flows and ARAS Innovator for the development of life cycles and workflows is applied. The Aris Express software application shows the design of two processes, the first the study of the place and the second, the design of the small wind turbine. For the construction of the model, design methodologies published in the journal and in some books where the design of small wind turbines are presented, or the analysis of these, but a model is not proposed where the management of the processes is integrated in a collaborative way and the management of the life cycle in a way that allows to establish a standardization in the design process of small wind turbines. The construction of the model was applied in a case study that shows the integration in a collaborative way of the Process Management and the Product Life Cycle Management and the application of the engineering tools from small wind turbines development.

Keywords: Business Process Management (BPM), Product Lifecycle Management (PLM), Small Wind Turbine (SWT).

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a Dios por la perseverancia que ha puesto en mi para no desfallecer en los momentos difíciles. A mi esposa e hijas, que tuvieron la paciencia y me cedieron el espacio de familia. A mi Asesor el Dr. Ricardo Mejía Gutiérrez por su paciencia y apoyo incondicional, a la ingeniera Carolina Marroquín por su apoyo y explicaciones, al Dr. Gilberto Osorio e ingenieros del grupo de investigación GRID por sus palabras de aliento, al ingeniero Carlos Rodríguez por su apoyo en su debido momento, a la Universidad EAFIT, a los compañeros del SENA y a todos aquellos que de una u otra forma estuvieron a mi lado. Dios lo bendiga por siempre.

# CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
1.1	Contexto	9
1.2	Definición del problema	12
1.3	Justificación	13
1.4	Objetivo general	14
1.5	Objetivos específicos	14
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>15</b>
2.1	Pequeños Aerogeneradores SWT	15
2.1.1	Tipos de aerogeneradores	15
2.1.2	Partes y componentes	18
2.1.3	Diseño de SWT	19
2.2	Gestión de Procesos de Negocio	24
2.2.1	Business Process Management (BPM)	24
2.2.2	Event Driven Process Chain (EPC)	27
2.3	Product Lifecycle Management (PLM)	27
2.4	Estrategias combinadas	33
<b>3</b>	<b>FORMALIZACIÓN DE UN PROCESO DE DISEÑO DE SWT</b>	<b>36</b>
3.1	Análisis del proceso de diseño de SWT	38
3.2	Formalización del proceso de diseño de SWT	38
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN</b>	<b>46</b>
4.1	Implementación del proceso de diseño de SWT en PLM	46
4.1.1	Estructura de usuarios	47
4.1.2	Configuración de Usuarios	48
4.1.3	Configuración de identidades	48
4.1.4	Configuración de Permisos	49
4.1.5	Configuración del Item Type	50
4.1.6	Ingreso de los Documentos ARAS	51
4.1.7	Construcción del ciclo de vida y los flujos de trabajo	52
4.2	Caso de estudio de diseño de un SWT	55
4.3	Resultados	56
<b>5</b>	<b>ANÁLISIS Y CONCLUSIONES</b>	<b>60</b>
<b>6</b>	<b>TRABAJO FUTURO</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>62</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (a) SWT Monopala, [Windburn de powerhouse wind.] (b) SWT Bipala, [Sirocco Eoltec], (c) SWT Tripala, (d) SWT Multipala. Figura(e) SWT Darrieus. (d) Savonius. (Las figuras c ,e [Robert A. Meyers, 2012], a. d, Windflower de windmission, f. Centro de Tecno.....	16
Figura 2.(a) SWT Small Donqi®, [Robert A. Meyers, 2012] (b) SWT Lift-Driven VAWTS, [Robert A. Meyers, 2012], (c) SWT ESI® [Robert A. Meyers, 2012],(d) AES drag-Driven VAWTs. ....	17
Figura 3.SWT Globuan [Robert A. Meyers, 2012] Combinación de un Darrieus y un Savonius .....	17
Figura 4.Turbinas de Viento – Diseño y componentes (Springer 2008) .....	17
Figura 5.Muestra las partes de un aerogenerador con caja de transmission.....	18
Figura 6.Construcción de un aerogenerador en madera (Anyi & Kirke,2011).....	19
Figura 7. Muestra un aerogenerador fabricado con PVC, (Rodríguez et al, 2016) .....	20
Figura 8.Parque de pequeños Aerogeneradores Artesanales en Nepal. (Leon Mishnaevsky Jr. et al, 2007) .....	20
Figura 9.Visión general del Modelo Ciclo de vida del Producto PLM. (Aras Corporation 2010).....	29
Figura 10. Un modelo de simulación y transformación "D-3D utilizado en la industria Textil, adaptado de Liu et al, 2010.....	32
Figura 11.Proceso de construcción y validación del Proceso de Diseño del SWT. ....	36
Figura 12.Símbolos de la EPC Aris Express de Aris Community para modelar la arquitectura de estudio y diseño. ....	37
Figura 13.(Diagrama As-Is de un proceso de Diseño).....	38
Figura 14.Integración del modelo To-Be.....	39
Figura 15. Integración del proceso As-Is y el proceso To-Be .....	39
Figura 16. Integración del proceso As-Is y el proceso To-Be en Diseño. ....	40
Figura 17 (Diagrama Aris, modelo To-Be de un proceso.....	41
Figura 18(Diagrama To-Be de un proceso de Seleccionar el Lugar) .....	41
Figura 19 (Estructura de la Actividad “Estudiar el lugar seleccionado”. Representado en la EPC de Aris Community). ....	42
Figura 20. Estructura completa del modelo “estudio del lugar” representado en la EPC de Aris.....	42
Figura 21. Comienzo del proceso constructivo del modelo To -Be de Diseño.....	43
Figura 22.Segunda sección del modelo To-Be, modelo de diseño del SWT. ....	43
Figura 23.Tercera sección del modelo To-Be, Arquitectura Aris del modelo de diseño del SWT, Análisis.....	44
Figura 24. Actividad de ensamble Arquitectura EPC de Aris Express .....	45
Figura 25. Sección quinta, final, del modelo To-Be, diseño del SWT .....	45
Figura 26. Documentos con ejemplo de codificación que se introducen en el Software PLM Aras Innovator. ....	46
Figura 27. Estructura de usuarios SWT en EPC de Aris Community .....	47
Figura 28. Caja de dialogo en donde se introducen los datos de los usuarios y se generan en usuario y la contraseña. (Aras Corporation).....	48
Figura 29. Estructura de usuarios en EPC y en Aras Innovar.....	49
Figura 30. Ventana de permisos, diseño del SWT. Software Aras (Aras Corporation) .....	49

Figura 31. Relación de los usuarios con los diferentes estados del modelo, Documentos del SWT y Estudio del SWT.....	50
Figura 32. Item Type del estudio del SWT.....	50
Figura 33. Item Type para los documentos.....	50
Figura 34. Relación de documentos en Aras Innovator.....	52
Figura 35. Ciclo de vida, del “estudio del lugar” para el diseño de un SWT.....	53
Figura 36. Ciclo de vida del “diseño del SWT”.....	53
Figura 37. “Workflow de “Estudio del Lugar”.....	54
Figura 38. Workflow del proceso de “Diseño”.....	54
Figura 39. Instructivos.....	56
Figura 40. Resultados del aprendizaje, Apropiación y desarrollo del modelo por medio empírico.....	56
Figura 41. Tiempo desarrollado en la aplicación y apropiación de la metodología de forma empírica.....	57
Figura 42. Apreciación de la integración del BPM con el PLM en el Software Aras Innovator.....	57
Figura 43. Evaluación del software Aras Innovator en el proceso de integración.....	58
Figura 44. Evaluación de los Resultados de Sub-equipo ingenieros.....	58
Figura 45. Producto, Diseño del SWT por técnicos con instructivos y con la integración del BPM y el PLM.....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 División de las turbinas eólicas con valores de parámetros típicos.....	10
Tabla 2 . Relación de los instructivos, formatos y registros con la codificación propuesta.....	51

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Contexto

La energía es importante para el desarrollo de los seres humanos, el cual está soportado en gran medida por la utilización de los combustibles fósiles, carbón, petróleo y el gas natural. El incremento en el precio, la escasez de algunos de ellos y la contaminación que generan, han obligado al hombre a utilizar otras fuentes de energía como la nuclear, sin embargo, no ha sido una solución definitiva frente a la necesidad energética que es creciente, debido a los altos riesgos y niveles de seguridad que requieren. En los países de Latinoamérica esta energía está muy remota de ser aplicada por el bajo nivel económico y técnico que exige. Es así como las fuentes de energía renovable han aparecido como una alternativa de sostenibilidad, con la ventaja de ser amigables con el medio ambiente. La atención se centra en la energía generada por el viento, y la energía generada por el sol, que son las más representativas entre otras energías renovables, estando en primer lugar la energía eólica.

Este proyecto se enmarca en el estudio de los pequeños aerogeneradores, en inglés *small turbine wind* (SWT), que son máquinas que utilizan la energía cinética del viento y la convierten en energía eléctrica. Los SWT son de gran aplicación en zonas no interconectadas, como pequeñas poblaciones y caseríos que tienen vientos favorables lejos de las costas, en donde actúan los grandes aerogeneradores y en algunas poblaciones donde la energía convencional no puede llegar o en su efecto se utilizan plantas eléctricas Diesel o a gasolina. A pesar de tener recursos muy favorables, infortunadamente no se cuenta con voluntad política para la promoción de planes de inversión para el desarrollo de instalaciones eólicas en parques o de forma independientes, las disposiciones actuales son proclives para dar un papel más importante a las energías renovables.

Se escoge la aplicación de los pequeños aerogeneradores porque la energía eólica es viable a nivel de Latinoamérica, por los vientos suaves que en algunas regiones se produce con una velocidad promedio de 11m/s. Esto ha permitido que se presente como una opción en la generación de energía con un creciente mercado, además por su aplicación diferente a parques eólicos, generando auto-sostenibilidad, así lo dice el Consejo Global de Energía Eólica (GWEC) que ve las instalaciones de energía eólica acrecentándose en los próximos 5 años. A lo anterior se añade la urgencia de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y eliminar la dependencia continua de los combustibles fósiles importados.

En las últimas décadas, Estados Unidos ha evolucionado en cuestiones de electricidad. La energía Eólica se considera en este país como una fuente abundante y con beneficios sociales y ambientales hasta el punto de convertirse en productor de aerogeneradores. El crecimiento de la energía eólica se estipula que asumirá un 35% de la demanda de energía

para el año 2050. El crecimiento de los pequeños aerogeneradores ha venido en aumento hasta llegar a 860.000 en el 2013. En la actualidad el mercado mayor lo tiene China, Estados Unidos, Alemania y por último la Gran Bretaña.

En América Latina se presenta un crecimiento en el empleo de energía Eólica. De acuerdo con la Agencia Internacional de energía, las energías renovables ascienden a casi un 29% del suministro total de la energía primaria en los países que la conforman, cifra relativamente alta en comparación con la cuota del 5,7% de energías renovables de los países de la OCDE. Algunos países de América Latina están expuestos a fuertes y constantes vientos que pueden ser aprovechados en la generación de energía eólica. Se presume que Brasil, que es uno de estos países, puede llegar a los 140.000MW de energía del viento, seguido por México con 40.000 MW y Colombia con unos 20.000MW, Argentina y Venezuela con 10.000 MW. Para la generación de energía por medio del viento se categorizan los aerogeneradores de tres formas fundamentales las cuales se presentan en la Tabla 1.

*Tabla 1 División de las turbinas eólicas con valores de parámetros típicos.*

<b>Categoría.</b>	<b>Poder (KW)</b>	<b>Radio del Aspa (m)</b>	<b>Velocidad Max. Del Aspa (rpm)</b>
<b>1.1.1 Micro</b>	≤0.5	≤ 0.8	700
<b>1.1.2 Mini</b>	0.5 – 15	2.5	800
<b>1.1.3 Pequeña</b>	15 - 50	≤8	200
<b>1.1.4 Grandes</b>	50 <	8<	<200

**Nikolié et al (2016)** los categorizan de la siguiente forma: de 8 m / s a 20 m / s para pequeños aerogeneradores (SWT), y de 12 m / s a 17 m / s para grandes aerogeneradores. Morthy y Rahi en el 2017 muestra la clasificación de los aerogeneradores de acuerdo con el diámetro del rotor en grandes aerogeneradores, medianos, domésticos, mini y micro. La comisión de Electrotecnia Internacional, con sus siglas en inglés IEC, en su norma 61400-2 define el estándar técnico para aerogeneradores pequeños con un área barrida por el rotor entre 2 y 200 metros cuadrados y una potencia aproximada de 50 KW. La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL, 2002) clasifica como aerogeneradores de pequeño tamaño a máquinas eólicas generadoras con potencia nominal igual o inferior a 500 kW.

Según, Morthy y Rahi, La tecnología de los aerogeneradores que se han desarrollado hasta el momento, han tenido en cuenta configuraciones en el diseño, en su estructura en la disposición del eje, sistemas mecánicos, fuerzas aerodinámicas, posición del rotor, velocidad del rotor del aerogenerador, el número de aspas, entre otras. Un análisis de la evaluación de la viabilidad técnica de la aplicación de aerogeneradores de pequeño tamaño

ha sido desarrollado por **Celik (2013)** y utiliza los parámetros de forma y escala de Weibull de la distribución de viento real. **(Araújo et al 2009)**.

Los pequeños aerogeneradores son las turbinas eólicas muy empleadas por las ventajas que presentan respecto al diseño de las aspas, manejo del ruido y sobre todo en los costos de instalación. En los grandes aerogeneradores la longitud de las aspas, la masa del aspa, el ruido generado es mayor, esto hace que los grandes aerogeneradores que cumplen con estas características sean aconsejables en parque eólicos lejos de las ciudades o de zonas rurales. Los pequeños aerogeneradores se usan a menudo fuera de la red donde se puede producir una mayor cantidad de energía en un corto tiempo con un viento modesto, así sea, en algunas ocasiones, costosa la energía producida. **(Pourrajabian et al, 2016)**.

Colombia es un país con potencial eólico que puede ser aprovechable cerca de los 21000 MW; todo esto con tecnología foránea, en donde la apropiación de conocimiento es insuficiente para pretender comenzar un desarrollo industrial para la producción de aerogeneradores. Al propósito de avance en proyectos eólicos se le suma que Colombia está compuesta principalmente por hidroeléctricas, termoeléctricas que funcionan con carbón, diesel y gas natural. Se estima que Colombia puede abastecer la demanda del país entero con la energía eólica ya que goza de vientos por encima de los 9 m/s a una altura de 50m. Por tales motivos Colombia es calificada como uno de los mejores países de América del Sur para la generación de energía Eólica. **(Edsand,2017)**.

En Latinoamérica, los países Chile, Argentina, Brasil, Perú, México y Uruguay presentan medidas políticas que incentivan el uso de las energías renovables en particular para la energía eólica. **(Contreras & Rodríguez, 2016)**. Para el 2035, se espera que China, La Unión Europea y Estados Unidos sean los mayores productores de energía eólica, con un 70% de la capacidad mundial de generación. **(Xu et al, 2016)**. Se Calcula que en el mundo existen más de 730 000 pequeños aerogeneradores instalados y se continua con un crecimiento rápido a lo largo de los años. **(Bukala et al, 2015)**.

En Latinoamérica se diseñan y construyen aerogeneradores en Brasil, con la empresa Vestas, Enercon, entre otras, se sigue con Panamá y luego con México con grandes aerogeneradores. El diseño de pequeños aerogeneradores en Latinoamérica aún es muy incipiente, depende de empresas foráneas con trayectoria en Europa y Estados Unidos, esto a pesar de la gran inversión China en energía en los países latinoamericanos. El problema del crecimiento de los pequeños aerogeneradores en América Latina primero que todo son los costos de kilovatio por hora y segundo que no se motiva el auto-sostenimiento, siempre se ve como la creación de grandes parques eólicos. La aplicación de pequeños aerogeneradores se proyecta más a la electrificación rural.

Es importante anotar que ante un mercado creciente de aerogeneradores en América Latina por ser un territorio favorable en vientos y una necesidad energética alta, ya que aún existen zonas no interconectadas se requiere de empresas que diseñen y construyan pequeños aerogeneradores con estrategias que puedan estandarizar el proceso de diseño

de tal forma que tenga repetitividad. En el medio existen las normas IEC 61400-1 y 61400-2 en donde se plantea la metodología de diseño de los pequeños aerogeneradores accesibles solo a ingenieros. En la literatura consultada sobre pequeños aerogeneradores y energías renovables a nivel de Latinoamérica no se evidencia propuestas de metodologías de diseño diferentes a las normas mencionadas donde se integre las metodologías de la Administración del proceso (BPM) y el ciclo de vida del producto aplicado al diseño de pequeños aerogeneradores. Con el modelo que se propone se quiere presentar una metodología que permita a nivel académico determinar la importancia de la integración de estas metodologías en el diseño de los SWT, de manera que permita estandarizar los procesos que se presentan en las normas de diseño de pequeños aerogeneradores.

Estos procesos llevarán el estudio, diseño y posterior fabricación a estandarizaciones que permitan automatizar el proceso de manera que no solo los ingenieros recién graduados o con cierta experiencia si no también, los tecnólogos de diseño o en construcción de sistemas mecánicos puedan aplicar para atreverse a diseñar y fabricar los SWT. Hoy en día los avances en los estudios de materiales compuestos son mas cercanos a ingenieros recién graduados, el manejo de las tecnologías y de herramientas CAE del PLM, los ensayos mecánicos de los materiales, pruebas de laboratorio, han permitido en otros campos como lo es la fabricación de postes en fibra de vidrio, para la línea de iluminación tener gran éxito hasta reemplazar a los postes de concreto. Es así como por medio de la propuesta de integración de las filosofías del BPM y el PLM se quiere proponer un modelo de integración que contribuya con la estructuración e integración de las normas de diseño de SWT existentes procesos que impulsen la construcción y puesta en marcha de los pequeños aerogeneradores.

## **1.2 Definición del problema**

A pesar de que en Colombia se cuenta con estudios de vientos, realizados por el Dr. Pinilla en 1997 en el INEA y se cuenta con normas ICONTEC para el diseño de pequeños aerogeneradores, y que con el TLC comienzan a entrar nuevas tecnologías de energías limpias, aún no se tiene una metodología estandarizada que permita a pequeñas y medianas empresas incursionar en el diseño y construcción de pequeños aerogeneradores (SWT). Además de lo anterior, no se tiene un referente conciso que permita guiar en el proceso de selección de un sitio geográfico con vientos adecuados, que justifiquen el diseño e implementación de pequeños aerogeneradores. Por lo general la mirada se concentra en la alta generación de energía con grandes Aerogeneradores como lo es el Parque Piloto de JEPIRACHE, las Hidroeléctricas, Termoeléctricas, entre otros.

El no tener una metodología, hace que una estrategia basada en una adecuada documentación del proceso mejore la ejecución y trazabilidad de los proyectos de diseño de los SWT. En países de Europa como Alemania, Holanda, en países de Asia como China, África, en América como los Estados Unidos, México, Argentina, tienen implementado la

autosostenibilidad de Hogares, Urbanizaciones, edificios, fincas, entre otros, mediante pequeños aerogeneradores, que además de contribuir con el medio ambiente, ayudan a disminuir los consumos de energía obtenidos por medios más costosos.

La Norma Técnica Colombiana para el diseño de pequeños aerogeneradores, se fundamenta en la norma IEC61400-1 que son claras en algunos aspectos, pero carecen en el proceso de desarrollo de un método que permita llegar de forma expedita al diseño y manejo de las variables que se plantean. Algunas empresas de energías Renovables hoy en día están interesadas en la comercialización de pequeños que se están importando y quizás no cuentan con estudios previos del lugar de aplicación. Además, los proyectos que actualmente se realizan no quedan debidamente documentados lo que impide que la curva de aprendizaje y aplicabilidad de la tecnología no evolucione y se popularice con celeridad.

En Antioquia y más exactamente en Medellín se han comenzado a implementar pequeños aerogeneradores que se han importado, de Estados Unidos u otro país, sin embargo, es la oportunidad por medio de esta metodología que se plantea, se comience a profundizar en el tema y se implante nuevas estrategias de estudio y sea el grano de arena para comenzar a hacer diseños propios de pequeños aerogeneradores.

### **1.3 Justificación**

De acuerdo con las políticas de la Gobernación de Antioquia y de Empresas Públicas de Medellín, con el eslogan ANTIOQUIA ILUMINADA, las políticas del Ministerio del Medio Ambiente con la implementación de energías limpias para la conservación del planeta, la autosostenibilidad que se debe generar en fincas, beneficiaderos de café, porcícolas en el campo, urbanizaciones, casas y edificios en la ciudad, se hace cada vez más necesario tener metodologías que posibiliten la implementación de la energía eólica con pequeños aerogeneradores. En la Actualidad este tipo de energía renovable se encuentra con límites de penetración del 20%. Según el documento de Antioquia iluminada hasta el momento se ha llevado electricidad a 18.000 familias de 60.000 familias que están en lugares remotos.

El país cuenta con estudios realizados por el INEA en 1997 y de Empresas Públicas de Medellín con el parque Eólico de Jepirachi de grandes aerogeneradores, los cuales están documentados, pero no tienen la metodología de una guía clara para el cliente que dese implementar este tipo de energía de forma doméstica o de menor escala. La metodología de diseño va dirigida a ingenieros y/o empresas de energías limpias, que están comenzando o llevan ya un tiempo en el mercado y no tienen métodos que les permita de una forma rápida, realizar un estudio en una zona de vientos, para sugerir a sus clientes el tipo de aerogenerador que requieren o simplemente si no es viable la implementación. La metodología también va dirigida a grupos de investigación en energías alternativas como base para posteriores investigaciones, como pueden ser los tipos de baterías más óptimas para el almacenamiento de la energía que se genera con la pequeña turbina.

Finalmente, el gran avance que tienen hoy en día las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) permite incrementar el impacto de la estandarización de procesos de ingeniería a través del uso de estrategias de gestión del ciclo de vida del producto (PLM). Esto permite optimizar y almacenar de manera más eficiente toda la información relacionada con el ciclo de vida del producto, de tal manera que un eventual requerimiento de búsqueda de información pueda ser atendido con diligencia, garantizando una trazabilidad del proyecto acorde con las necesidades de los procesos de soporte en diseño y desarrollo de productos.

## **1.4 Objetivo general**

Formalizar un modelo para el diseño de pequeños aerogeneradores (SWT), a través de la integración de estrategias de Gestión de Procesos de Negocio (BPM) y Gestión del Ciclo de vida del Producto (PLM) con el fin de estandarizar y permitir la automatización del proceso de diseño.

## **1.5 Objetivos específicos**

- Entender la problemática relacionada con el diseño e implementación de pequeños aerogeneradores (SWT) en Latinoamérica.
- Identificar las herramientas del BPM y el PLM que se requieren en un proceso de integración entre las dos estrategias para entender la lógica de diseño de un pequeño aerogenerador (SWT) y los vacíos metodológicos.
- Proponer un modelo del proceso de diseño de pequeños aerogeneradores (SWT), basado en estándares y herramientas propias de la ingeniería de aerogeneración.
- Desarrollar un módulo especializado en una plataforma PLM, con el fin de automatizar el proceso de diseño de pequeños aerogeneradores.
- Validar el módulo que presenta la Integración de las herramientas de procesos (BPM) y ciclo de Vida (PLM) a través de un caso de estudio

## 2 ESTADO DEL ARTE

En esta revisión bibliográfica se pretende introducir al lector a las tecnologías de aerogeneración, así como las tipologías y particularidades de las diferentes soluciones. Así mismo, se quiere mostrar cómo se ha venido desarrollando los conceptos de gestión de procesos, *Business Process Modeling* (BPM), las herramientas que utilizan para el modelado del proceso, *Event Process Chain* (EPC) y workflows, el ciclo de vida del producto, *Product Lifecycle Management* (PLM), como se relacionan y si han sido empleadas en los diseños de pequeños aerogeneradores, *small turbine wind* (SWT). La revisión se realiza con un rango amplio de 7 años atrás, esto con el objeto de demostrar que existen vacíos en la integración del BPM y el PLM en el diseño de pequeños Aerogeneradores. En primer lugar, se describen las tecnologías de aerogeneración, luego se muestra la filosofía del BPM, con su herramienta EPC en la construcción de procesos, luego se habla de la filosofía del PLM, como se han venido integrando y si se ha aplicado al diseño de los SWT. a nivel del diseño y que conceptos fundamentales se han desarrollado junto con las diferentes filosofías. El software PLM que se emplea en el caso de estudio es Aras Innovator de Aras Corporation, esto se hace porque es un software simple, amigable y Open Source.

### 2.1 Pequeños Aerogeneradores SWT

#### 2.1.1 Tipos de aerogeneradores.

En el campo de los pequeños aerogeneradores se encuentran una variedad de formas y tamaños. Estos se pueden clasificar de varias maneras, sin embargo, generalmente se clasifican según la disposición de sus ejes: turbinas de eje horizontal (HAWT) y turbinas de eje vertical (VAWT).

Una vez clasificados según la disposición del eje, se pueden clasificar de nuevo de acuerdo con el número de palas: monopala, bipala, tripala y multipala. Figura 1. Otra forma de clasificarlos es según su forma: Darrieus, savonius, pequeño donQi®, ascensor, AES drag-Driven, ESI®, entre otros, estas turbinas toman por lo general el apellido o en nombre de su inventor.

En la Figura 2 se muestran los tipos de pequeños aerogeneradores mencionados, como se puede ver algunos de ellos son marcas registradas. En algunos casos se encuentran

diseños en los que se mezclan formas de aspas de dos aerogeneradores como ocurre con la pequeña turbina eólica Globuan, que la turbina eólica Darrieus y en el rotor tiene las aspas de un pequeño savonius, esta se puede ver en la Figura 3.

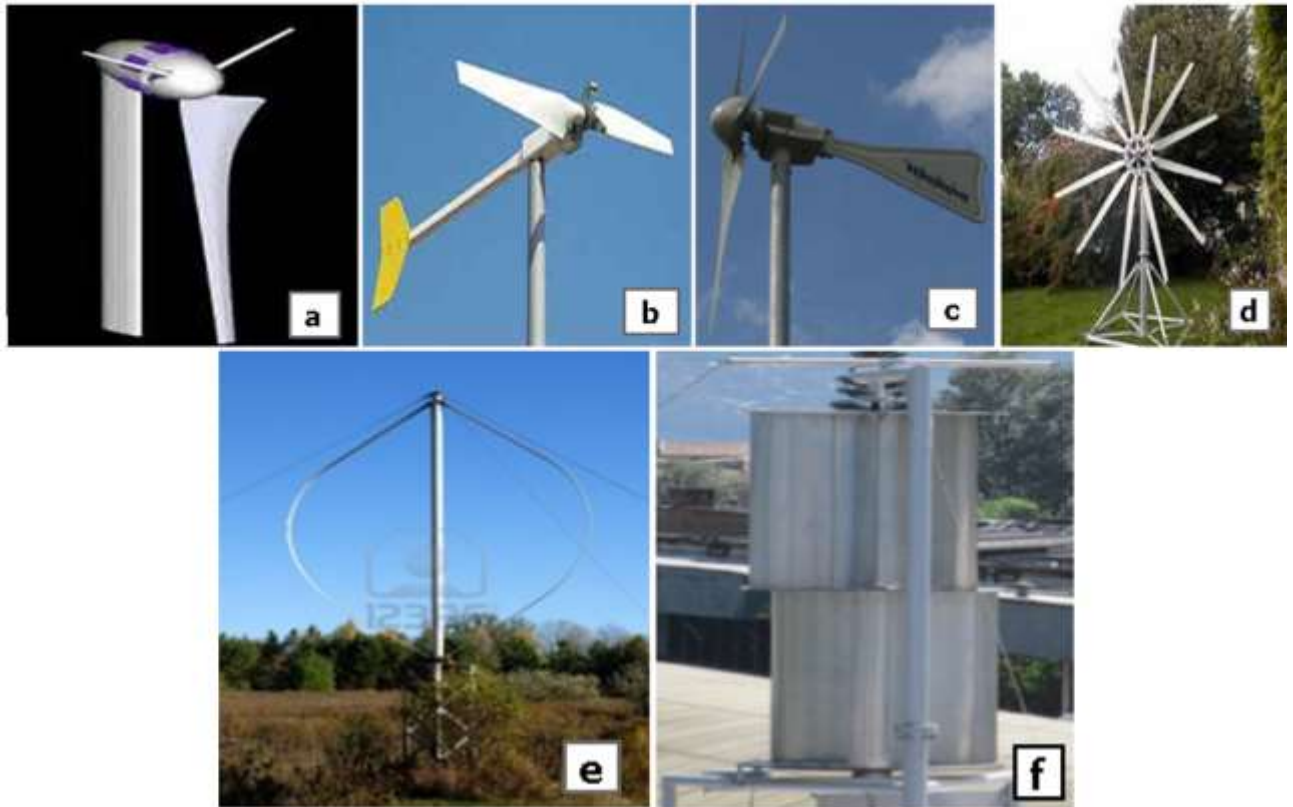


Figura 1. (a) SWT Monopala, [Windburn de powerhouse wind.] (b) SWT Bipala, [Sirocco Eoltec], (c) SWT Tripala, (d) SWT Multipala. Figura(e) SWT Darrieus. (d) Savonius. (Las figuras c ,e [Robert A. Meyers, 2012], a. d, Windflower de windmission, f. Centro de Tecno

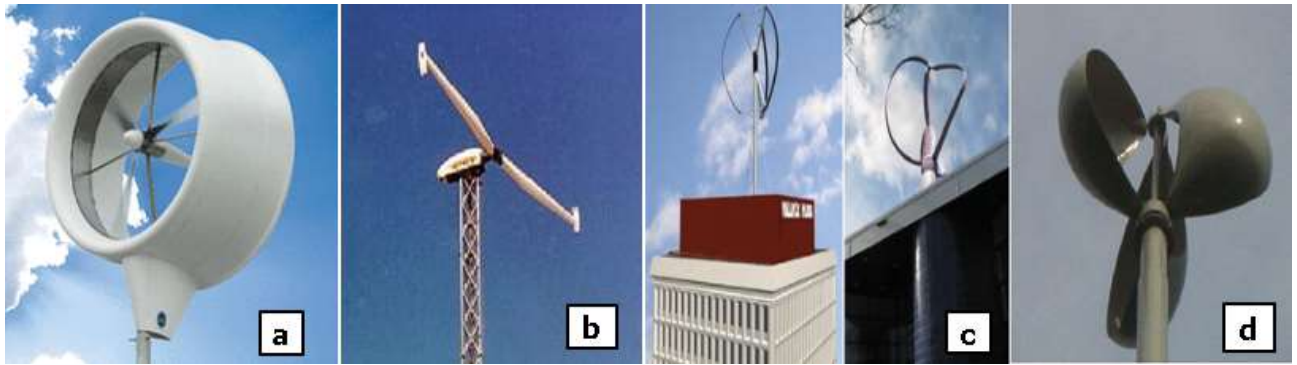


Figura 2.(a) SWT Small Donqi®, [Robert A. Meyers, 2012] (b) SWT Lift-Driven VAWTS, [Robert A. Meyers, 2012], (c) SWT ESI® [Robert A. Meyers, 2012],(d) AES drag-Driven VAWTs.



Figura 3.SWT Globuan [Robert A. Meyers, 2012] Combinación de un Darrieus y un Savonius

En la Figura 4 muestra los tipos y las características de los principales pequeños aerogeneradores. Los tipos y diseños son influenciados por las aplicaciones específicas.

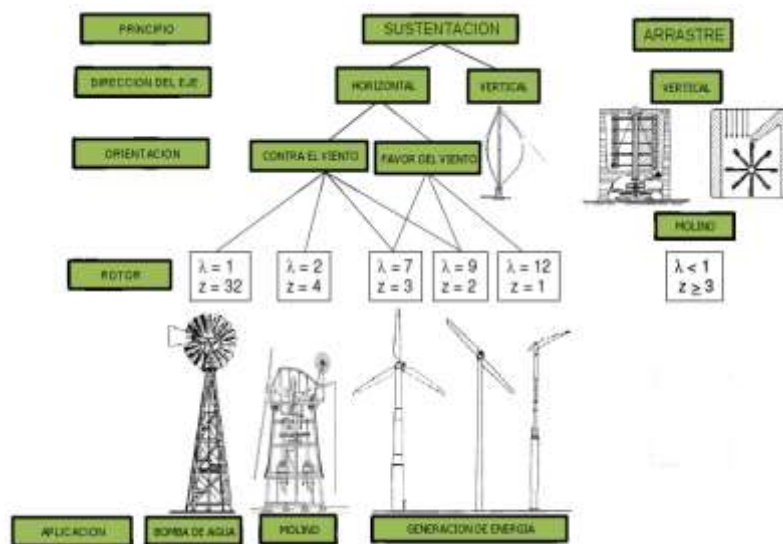


Figura 4.Turbinas de Viento – Diseño y componentes (Springer 2008)

## 2.1.2 Partes y components

Los aerogeneradores son máquinas que convierten la energía cinética de la masa del viento en energía mecánica rotacional y luego se convierte en energía eléctrica por medio de un motor o generador. Para poder realizar esta transformación los aerogeneradores tienen una serie de componentes que son necesarios para su funcionamiento. A continuación, se mencionarán los componentes más relevantes de un pequeño aerogenerador, SWT. Figura 5.

Los componentes de un Pequeño aerogenerador son:

**Rotor:** Se refiere a las aspas de punta a punta, lo que equivale al diámetro.

**El cubo:** Se refiere al elemento que contiene ensambladas las aspas, generalmente tiene forma de torpedo con el objeto de romper suavemente el aire que entra por todo el centro del aerogenerador. En inglés llamada Hub.

**Generador Magnético (Motor de imanes permanentes):** Es el encargado de generar la energía al girar por el movimiento que transmite el viento al rotor. Este elemento está ubicado dentro de un dispositivo llamado góndola. La góndola en los SWT son muy pequeñas comparadas con la góndola de los grandes aerogeneradores.

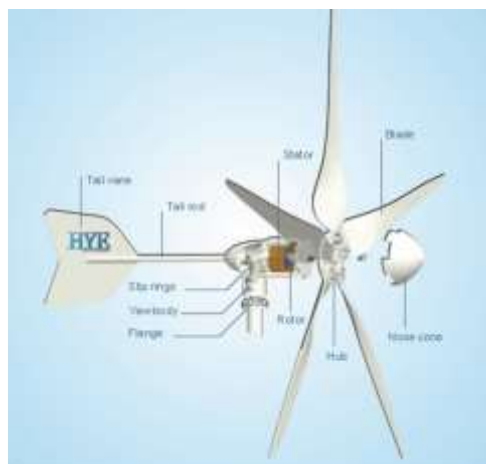


Figura 5. Muestra las partes de un aerogenerador con caja de transmisión.

Fuente: Guangzhou HY Energy Technology Limited Corp.

**Soporte:** El soporte generalmente son dos chumaceras con rodamientos antifricción que soportan el eje que sale del Cubo hacia el motor. Generalmente se colocan dos chumaceras para que el eje no quede en cantiléver.

**Acoplamiento:** Es elementos de máquinas utilizado para conectar directamente el eje que sale del rotor al eje del generador magnético. Este elemento asume desalineaciones

que se puedan presentar, no mayores de tres grados, También se usa como fusible ante una eventualidad.

Para los pequeños aerogeneradores, estilo micro-generadores, se acostumbra la conexión directa al generador magnético, sin embargo, cuando se tienen tamaño medianos, rotores mayores de 2 metros de diámetro, se emplean amplificadores de velocidad por correas, cadenas o engranajes. Esto porque mientras más grandes sean las aspas menores es la velocidad angular del rotor.

**Eje:** Es elemento de máquinas que transmite el movimiento del rotor al generador.

**Estructura:** Es la armadura que soporta el pequeño aerogenerador, esta puede ser tubular o en forma de celosías.

**Caja de Transmisión:** algunos pequeños aerogeneradores presentan en su diseño sistemas de transmisión, esto se presente en aquellos en los que la velocidad de rotación comienza a ser muy baja, aerogeneradores de rotores de diámetro mayores de 2m.

### 2.1.3 Diseño de SWT

En el diseño y construcción de pequeños aerogeneradores *SWT*, se encuentran en el estado del arte dos métodos básicamente: los artesanales y los estructurales.

Los artesanales son métodos que se van implementando en localidades urbanas o campesinas donde se dificulta el acceso de la energía eléctrica, pero tienen fuentes naturales como es el viento. También se presenta como procesos de investigación iniciales antes de implementar métodos más avanzados.

En muchas ocasiones los métodos artesanales, Figura 6 y Figura 7 se confunden con los experimentales, sin tener en cuenta aspectos fundamentales como es el material por utilizar, el tipo perfil más adecuado de acuerdo con el recurso eólico, sin embargo esto lo compensan haciendo aplicaciones de ensayos mecánicos para verificar la resistencia.



*Figura 6. Construcción de un aerogenerador en madera (Anyi & Kirke, 2011)*



*Figura 7. Muestra un aerogenerador fabricado con PVC, (Rodríguez et al, 2016)*

En la Figura 8 se muestra cómo se construyeron un grupo de pequeños aerogeneradores con aspas en madera, en Nepal. Se observa que no tienen un perfil aerodinámico adecuado para tener una mejor eficiencia.



*Figura 8. Parque de pequeños Aerogeneradores Artesanales en Nepal. (Leon Mishnaevsky Jr. et al, 2007)*

Los métodos estructurados son de carácter Sistémico, en donde se presentan estructuras de diseño más fundamentadas en el análisis utilizando herramientas de Modelación, análisis confiables por elementos finitos y CFD. Igualmente sucede con los procesos de fabricación y los materiales utilizados. Estos métodos se encuentran por lo general en journals, en investigaciones en donde se plantean soluciones a situaciones que rodean los diseños de los SWT, como se podrá ver en el estado del arte que se presenta a continuación.

En los procesos de investigación y diseño de aerogeneradores, se realiza con mayor fuerza en los aerogeneradores de eje horizontal, del inglés HWT, ya que estos presentan mayor eficiencia energética que los aerogeneradores de eje Vertical, del inglés, VWT, que trabajan esencialmente por arrastre, tiene un alto par de arranque, pero su eficiencia es

pobre. Sin embargo, estos tipos de aerogeneradores contribuyeron con el desarrollo de otros aerogeneradores tipo urbanos. Los HWT han llevado a la realización de estudios sobre el diseño de tipos de aspas, **(Islam et al., 2008)**. A estos estudios se añaden los realizados en la optimización de un aspa de aerogenerador de 1.5 metros de longitud, con el objeto de estudiar el comportamiento aerodinámico aplicando el método computacional CFD y el método de vórtice libre. **(Wang et al,2012)**. Se han realizado estudios de velocidad de punta en las aspas de los HWT, en parques eólicos para determinar las vorticidades en la punta del aspa. Otros estudios se han centrado en el efecto del número de aspas en la generación de energía en una turbina de viento, lo hacen con base en estudios numéricos aplicando CFD, **(Wang & Shen, 2008)**. Para las aspas óptimas han experimentado con el túnel de viento para determinar las variables de diseño en el comportamiento de las aspas a diferentes velocidades, intensidad de la turbulencia, tensión de cizallamiento cinemática además estableciendo el comportamiento del flujo con superficies lisas y rugosas, **(Chamorro & Agel, 2009) (Takizawa et al, 2011)**.

Es importante tener presente que las aspas comiencen a girar a la menor velocidad del viento con base en esto se realiza el estudio del rendimiento de una turbina de eje horizontal de 2 metros de diámetro del rotor, realizando un análisis cerca del cubo y en la punta del aspa, esto para obtener un diseño bueno del aspa, **(Wright & Wood, 2004) (Bystryk & Sullivan,2011)**.

Algunos diseñadores tienen presente el diseño del furling, que es el mecanismo que sirve para controlar las velocidades excesivas y el control de energía, **(Audierne et al, 2010)**. En los estudios de fiabilidad de las pequeñas turbinas de viento, la forma de protegerse contra vientos muy fuertes o vientos de ráfaga o cuando se presenta extracciones de carga súbita, se plantea por los diseñadores un monitoreo de las aspas para determinar su embotamiento, **(Whale, 2009)**. Se han realizado estudios experimentales sobre el mecanismo de flujo de una pequeña turbina de viento para determinar el comportamiento con un difusor flanqueado detrás de la turbina eólica, **(Abe et al. 2005)**. Otras investigaciones se centran en la construcción de dispositivos como controladores o microcontroladores de pequeñas turbinas eólicas que están conectadas a la red. Con el controlador se quiere detectar parámetros del aerogenerador y de la red con base en la tensión y la frecuencia de la turbina eólica con el objeto de toma de decisiones de conexión y desconexión, **(Ahshan et al,2007)**. A medida que va creciendo el interés por los pequeños aerogeneradores y el análisis de los beneficios, se estudia los impactos ambientales que pueden generar, para ello establecen la comparación entre una turbina eólica y un generador diesel, mostrando como resultados un beneficio ambiental para la energía eólica a pequeña escala, **(Fleck & Huot, 2009)**. Otros elementos importantes a tener en cuenta en el diseño de pequeñas turbinas de viento es el control del Pich, para ello se proponen en diseños controladores de paso de manera que incorpore la velocidad prevista del viento para que la generación de energía tenga efectos en los sistemas de potencia mientras se produce la potencia óptima que debe generar el viento esto llevará a determinar el rendimiento de las turbinas de viento respecto a otros sistemas de generación como el diesel **(Nanayakkara et al,1997)**. Para el aumento de la eficiencia de las turbinas

de viento se vienen estudiando el diseño de aspas eólicas de bajo coste con alta eficiencia. Para lograr el objetivo se subdivide el aspa en dos, cada parte con un ángulo de paso diferente, esto con el objeto de optimizar el flujo aerodinámico, pero esto genera pérdidas de energía debido a los vórtices en las puntas del aspa, **(Lanzafame & Messina,2008)**. En los desarrollos de las turbinas eólicas se han trabajado conceptos innovadores como lo son turbinas eólicas incorporadas a edificios. Es lo hicieron con base en la energía renovable a pequeña escala y en la lucha que se presenta frente al cambio climático, las turbinas de aplicación son las de eje horizontal y las de eje vertical, en el Reino Unido, **(Sharpe & Proven,2010)**. Las turbinas eólicas de bajo costo con aspas de madera representan una buena solución para la producción de energía descentralizada en las regiones fuera de la red de los países en vía de desarrollo. Las investigaciones se han centrado en la elección de la madera para la construcción del aspa y las pruebas mecánicas para establecer la resistencia, **(Mishnaevsky et al, 2008)**. En el diseño de turbinas eólica se han realizado investigaciones en el proceso de falla de las aspas compuestas tipo sándwich sometidas a cargas del viento. Para ello se realizó un estudio teórico sobre la presión del viento que actúa sobre la superficie del aspa **(Chen et al, 2011)**. En el estudio se acudió a un análisis aerodinámico por elementos finitos, **(Chen & Kam,2011)**. Para mejorar el diseño de la turbina eólica y por ende el funcionamiento, se han realizado estudios de avanzada con el objetivo de reducir las cargas en el rotor, lo que puede redundar en la reducción en los costos totales del aerogenerador. Este estudio proporciona una visión general del control del rotor inteligente para aerogeneradores, discute la viabilidad de la implementación futura, cuantifica los parámetros clave y muestra los desafíos asociados con tal enfoque. El estudio realizado proporciona una visión general del control del rotor inteligente para aerogeneradores, **(Barlas & Kuik,2009)**.

Se discuten la perspectiva de energía eólica urbana, con la propuesta de enfoques más convencionales, turbinas eólicas montadas en los techos o aplicando diferenciales de flujo de viento alrededor de un edificio, **(Johnstone & Kelly, 2008)**. Se ha realizado revisiones de literatura para determinar las relaciones de viento urbano para la construcción de aerogeneradores, los costos y el tiempo que se requiere, arrojando datos de utilización de las azoteas de altos edificios aislados y los vientos generados por corredores de edificios, a pesar de que la rugosidad del terreno es alta y poco benéfica para los aerogeneradores, **(Walker,2011)**. Se han propuesto diseños de turbinas eólicas para hogares rurales con aplicaciones a escala, **(Bahadly,2009)**. Estudios más recientes plantea la construcción de las aspas de una turbina eólica mediante prototipado, teniendo en cuenta aditivos en los procesos de manufactura. Plantean cinco pasos básicos para el modelado y posterior fabricación del aspa, **(Poole & Phillips, 2015)**

Se ha investigado en el desarrollo de un algoritmo de optimización para el diseño de un aspa de aerogeneradores para lograr un alto rendimiento. Este algoritmo se aplicó para el diseño de la cuchilla NH1500 especialmente para una turbina eólica de eje horizontal de tres palas, controlada por cabeceo, con una potencia nominal de 1,5 MW, **(Wang et al, 2012)**.

Con los diseños de los tamaños de las aspas de los aerogeneradores ha surgido la necesidad de crear técnicas de control de cargas más sofisticadas que aparecen con él tamaño, para ello se deben generar técnicas de control aerodinámico con inteligencia de incorporación a dichas palas. Para ello se propone una forma de modelar las aspas adaptables de las turbinas eólicas y analizar la capacidad para suprimir las vibraciones, **(Qiao et al 2012)**. Existen expectativas respecto a la energía alternativa con SWT, en aplicaciones urbanas con diámetros de rotor de 1 a 5 metros, accionadas por motores de imán permanente, **(Kádár & Laszlo, 2012)**.

El proceso de diseño de SWT se basa generalmente en métodos y herramientas para aerogeneradores de mayor escala, sin embargo, los pequeños aerogeneradores presentan unas características de acuerdo con la aplicación. El diseño de las aspas se basa en perfiles aerodinámicos con condiciones mecánicas. Se estudia el aspa del aerogenerador fabricada en fibra de vidrio reforzada con polímeros.

Los estudios aerodinámicos de un SWT de eje horizontal de 1 Mw se realizan para un coeficiente de potencia máximo creado una distribución lineal entre el chord y el twist. para los análisis se escoge varias familias de aspas: A1-21, A1-18, S809, S814 Y Du 93-W-210. También se analizan en la familia de perfiles los ángulos de elevación y arrastre, **(Tahani et al, 2017)**.

Se han realizado estudios para lugares con velocidades del viento entre 2.2m/s y 5 m/s, mostrado el desempeño de un pequeño aerogenerador de eje Horizontal (WAWT), basados en el estudio de las velocidades desarrollado en el software Qblade, luego se analiza el perfil aerodinámico, utilizando el software CFD de ANSYS, obteniendo parámetros de rendimiento sustentación y coeficiente de resistencia, **(Koulagi et al, 2017)**.

Otras investigaciones sobre el diseño de aerogeneradores, se centra en las mini turbinas eólicas de eje horizontal aplicadas a la generación de electricidad a partir del tráfico vehicular en carreteras de alta velocidad, esto se puede realizar en el día y en la noche resultando más económico. **(Pramond & Shrirang, 2017)**. En investigaciones de sistemas de generación de electricidad a partir de SWT se encuentra un diseño para la India de un pequeño aerogenerador de eje horizontal, de 500 W. En el artículo se presenta los principios fundamentales de funcionamiento, los componentes principales, el análisis del momentum de acuerdo con la teoría de Betz. La investigación se realiza bajo los siguientes supuestos: (1) Homogéneo, Flujo de fluido incompresible, en estado estacionario (2) Sin fricción (3) Un número infinito. De palas (4) Empuje uniforme sobre toda el área del rotor (5) Estela no giratoria (aire corriente después de pasar por el rotor) (6) Presiones estáticas aguas arriba y aguas abajo son iguales a la presión estática ambiental no perturbada, **(Haridas & Parkhe, 2017)**

Como se pudo apreciar en el estado del arte de diseño de pequeños aerogeneradores no se encuentran estudios de integración del BPM y el PLM, también se evidencia un vacío en la aplicación de la metodología de diseño, así sea, basados en las normas para diseño de estos. Los estudios e investigaciones se centran en la mejora de las aspas y el monitoreo

y de forma independiente de estudios por elementos finitos y CFD, estos en algunas investigaciones se ven integrados y en otras son individuales.

## 2.2 Gestión de Procesos de Negocio

### 2.2.1 Business Process Management (BPM)

En la literatura que se encuentra acerca del BPM se define como un conjunto de herramientas, métodos y tecnologías que se centran en los procesos y que sirve para diseñar, representar, analizar y controlar procesos, y el rendimiento de estos. (Gaminella, et al, 2010)

Fleischmann, (2010) propone que el BPM es una secuencia lógica de acciones ejecutadas por actores con los recursos y/o información. Esto conlleva a que en las especificaciones del proceso se presenten preguntas como: ¿Quién hace? ¿con que lo hace? ¿Y cuándo lo hace?

El BPM establece relaciones entre las personas, clientes, proveedores, y sistemas, entiéndase esto dentro de un proceso de diseño de un producto.

El BPM sirve para el control de los procesos, por lo tanto, se puede monitorear. Es una Herramienta para la metodología de diseño de producto porque se puede representar de forma automatizada el proceso del producto desde que se concibe hasta que pasa a la comercialización y declinación.

Burcher y Winter en el artículo “Taxonomy of Business Process Management approaches” proponen los enfoques de la ingeniería de métodos como apoyo al BPM. Se plantea también que, si una organización ha alcanzado un nivel de madurez con respecto al BPM, en ella se pueden distinguir dos tipos de diseño de gestión de procesos: El BPM colectivista que se basa en normas establecidas, así como en modelos de procedimientos y en modelos de referencia. Y el BPM individualista que se enfoca más en lo que beneficia al BPM como es, una profunda educación y una máxima autoridad en la toma de decisiones con respecto al diseño del proceso y ejecución.

El BPM es un sistema que permite pasar del diseño del producto hasta la comercialización, sin tener que pasar por la base de datos, en él se pueden crear metodologías de diseño, formularios, workflow, rutas de trabajo entre otros.

Mending et al (2017) propone una arquitectura BPM, en donde se muestra una estructura de modelo desde el concepto, la gestión del proceso y su ciclo de vida. Esto conlleva a plantear proceso del “cómo se hace” en inglés “As-Is” y posteriormente a procesos del “Deber Ser”, en inglés “To-Be”.

Las aplicaciones de la gestión de los procesos han sido adoptadas por la industria naval, como un nuevo motor de crecimiento que abarca un Know-how de producción y de economías de escala. Se han adoptado soluciones con manejo de sistemas (3D), diseño asistido por ordenador (CAD), sistemas de planificación de recursos empresariales y el ciclo de vida del producto. Sistemas adaptados en astilleros contribuyendo con la mejora de la productividad. Se presenta la convergencia de las tecnologías de la información en la industria naval donde se adopta la gestión de los procesos.

La gestión de procesos (BPM) como un enfoque gerencial sistemático permite que el flujo de trabajo de la organización sea más eficaz, más eficiente y más capaz de adaptarse a un entorno en constante cambio. BPM intenta mejorar continuamente los procesos teniendo en cuenta las necesidades y requerimientos del cliente. El concepto de BPM no es nuevo, sin embargo, muchas empresas todavía están luchando con la implementación de BPM y con la aplicación de concepto y métodos basados en el enfoque de proceso, (Gasova et al, 2016). La gestión de los procesos ayuda a reducir los costos, el tiempo de flujo y a mejorar la calidad. (Repa,2012; Weske,2012). El BPM es aplicado en la automatización, integración y monitoreo de la ejecución de procesos, (Fleischmann, 2010), por tal motivo el BPM es aplicado en la mayoría de las empresas que tienen procesos industriales y de diseño que comulgan con estas filosofías, para hacer los procesos más expeditos y efectivos. "Business Process Management (BPM) incluye conceptos, métodos y técnicas para apoyar el diseño, la administración, la configuración, la promulgación y el análisis de procesos" (Weske,2007). Algunas fuentes, han publicado procesos estructurados de diseño y construcción, como el caso de (Son& Kim,2013) para el caso del desarrollo de un astillero. En el proceso se observa un workflow que representa el ciclo de vida y el proceso productivo estructurado, en una herramienta de EPC del BPM.

La investigación se centra en encontrar y desarrollar un método que permita obtener requisitos para el empleo de BPM tools, sin tener que entrar a profundidad en detalles del proceso. Para la creación del modelo empleó una técnica llamada "relación de paso". Consiste en definir términos de pasos y la relación que existe entre ellos. Los pasos representan paquetes de trabajo o trozos de trabajo, mientras que las relaciones representan diferentes tipos de relaciones entre los pasos del proceso, como la relación de entrada / salida, la posibilidad de ejecución paralela, y la presencia de equipos que se cruzan (Bider & Perjons, 2014).

La aplicación de herramientas del BPM como son los Workflow y las EPC se puede apreciar en la interacción humana y un proceso en el entorno productivo. A pesar de la evolución de las tecnologías de la información en la conexión de personas, procesos e información, los procesos de desarrollo se centran en la aplicación de herramientas BPM para la configuración de una plataforma colaborativa, aplicando los conceptos de flujos de trabajo dinámicos (*Dynamic workflow systems*), (Mengoni et al,2010). La gestión de proceso abarca todo el ciclo de vida, incluyendo el diseño de procesos, simulación, promulgación, monitoreo y control, diagnóstico, entre otras. (Van Der Aalst, et al,2002)

Los procesos de investigación y aplicación siempre han estado constituidos con diseños que conllevan a la modelización de métodos, cadenas impulsadas por eventos (EPC) o marcos como la arquitectura de los sistemas de información integrados ARIS, esto ha sido de gran importancia para los enfoques de técnicas y herramientas para el diseño. Para el BPM. (Houy et al,2012).

Los procesos en el BPM se estructuran de manera que puedan ser definidos, se puedan configurar, puedan ser implementados, y se pueda hacer una trazabilidad de manera que permitan adaptarse a situaciones de cambio. (Mutschler & Reichert 2013). Esto permite tener un control en los procesos de diseño y fabricación, de manera que se puede realizar la trazabilidad del producto y del proceso, esto hace que los ciclos de vida de los procesos y la mejora del mismo se hayan convertido en factores importantes para el éxito. (Mutschler & Reichert 2013). El BPM está fuertemente asociado con técnicas y herramientas orientadas a la gestión del proceso, en el de modelado y la tecnología de gestión de flujo de trabajo (Georgakopoulos et al,2005) (Mutschler et al,2008) (Reijers et al,2010). En el BPM con las herramientas de la EPC se pueden modelar procesos estructurados que deben ser con gran precisión de manera de manera que permita simular proceso que sean rutinarios (Stavenko et al 2013). En la modelación de los procesos en el BPM, algunos se enfocan en las “actividades” como concepto principal y otros lo hacen en el “artefacto”, objeto. (Kapuruge et al,2014)

Otros enfoques de BPM, son dedicados a apoyar diseños de sistemas de información, en situaciones colaborativas en donde participen varios asociados, de manera que el enfoque PLM pueda ser útil en los diseños de un sistema de información. Para cumplir con el objetivo se identificaron dos barreras fundamentales: La cartografía del negocio colaborativo, determinando las características de la situación de colaboración y la ontología de la colaboración. y como segunda barrera se tiene la disminución de la brecha semántica que existen en las actividades empresariales. La investigación se centra en presentar pasos de ingeniería del enfoque BPM, (Mu et al, 2014).

Como advierten Tavlaki y Loukis (2005), El BPM no es un concepto teórico, sino una de las condiciones fundamentales del éxito, como un instrumento necesario en las estrategias de acción de los procesos en las empresas, (Madjzik & Okreglicka,2015).

Las empresas cada vez requieren ser más competitivas, esto las impulsa a buscar medios innovadores de manera que se reduzcan los costos y satisfacer las demandas del mercado. Recientemente, las empresas han reconocido la importancia de la innovación de Business Process (BP) para sobrevivir y, en consecuencia, han adoptado diversas metodologías que implican principalmente la reconfiguración orientada al proceso de los sistemas de información (SI), (Bae et al 2017).

### 2.2.2 Event Driven Process Chain (EPC)

Para la estructuración del BPM, existen herramientas para la ingeniería de procesos y la forma real del despliegue de los procesos. Los EPC se han convertido en una técnica generalizada de modelado de procesos. (Aalst 1999).

A pesar de que la EPC son centro de estudios de algunas organizaciones, la investigación sobre las EPC aún es limitada, se están realizando estudios sobre la cadena manufacturera en china, (Chavez et al 2017).

La planificación en forma sistémica de los de procesos es clave para la realización robusta de productos desde el diseño hasta la fabricación. Cada proceso y operación debe diseñarse de la mejor manera posible para asegurar que la cadena de proceso y su estandarización conduzca al desarrollo y calidad del producto., (Lundgren et al 2015).

Otros estudios sobre el análisis de las EPC arrojan mejoras de los procesos, sobre todo donde se presentan actividades rutinizadas, también conocidas como actividades repetidas, (Nakano & Oji 2017). En un proceso de cadena de suministro impulsado por datos, la información se comparte a lo largo de toda la cadena de para conectar y proporcionar acceso extremo a extremo de la estructura. (Chavez et al 2017). Para ser más impactante, debe ser incorporado en los procesos organizacionales (Yu et al 2016). La cadena de procesos impulsada por sucesos (EPC) es un diagrama de modelado de procesos. Las Cadenas de Procesos (EPC) impulsadas por eventos se han convertido en una herramienta de proceso Modelado en las organizaciones. (Korherr & list 2006). La EPC 0 ha sido desarrollado dentro del marco de la Arquitectura de Sistema Integrado de Información (ARIS) y es utilizado por muchas empresas para modelar, analizar y rediseñar los procesos.

Korherr & List (2006) plantea los elementos que contiene un modelo EPC con los que se construye la arquitectura del proceso. La construcción de cada proceso se hace por eventos (EPC) que es el principal modelo de ARIS. Es un modelo dinámico que reúne los recursos estáticos, (Sistemas, organización, datos, entre otros) que se organizándolos para entregar una secuencia de, actividades de tal manera que añade valor al proceso (Dallas et al, 2014). Las cadenas de proceso impulsadas por eventos (EPC) (Scheer & Nuttgens 2000) es un lenguaje popular para la modelización, documentación de modelos industriales y diseños de flujos de trabajo. (Scheer 2000).

## 2.3 Product Lifecycle Management (PLM)

El ciclo de vida del producto, PLM, se ha dirigido principalmente a las grandes empresas que desean integrar la gestión de datos del diseño, la fabricación, la prueba, el análisis y el cambio a mejores prácticas. (Systemes & Mendola 2005).

Desde el surgimiento de los sistemas CAD comerciales a finales de los años 60 y principios de los 70, las empresas han estado buscando herramientas de gestión de datos que permitan administrar un producto desde sus primeros diseños conceptuales a través de su Ingeniería, desde el concepto hasta su eventual jubilación y muerte **(Lund. et al 2005)**.

La gestión facilita de manera colaborativa las aplicaciones CAD, cambios en el diseño, especificaciones, compras y documentos relacionados, a través del ciclo de vida. **(Lund et al 2005)**.

Esta filosofía de colaboración previene en las primeras etapas errores costosos. La trazabilidad de cambios y detalles significa que la responsabilidad legal es más clara y el servicio más simple. PLM reúne, de manera ordenada, toda la información sobre un producto, del cómo se hizo y cómo se utiliza. **(Systemes & Mendola 2005)**.

Su aplicación ha sido en su mayoría en productos de grandes compañías como la industria automotriz, ingeniería pesada, alta tecnología y la aeroespacial. El costo y la complejidad de algunos softwares para la administración del PLM como Teamcenter de UGS, Windchill de PTC y Smarteam de Dassault Systemes. ha sido obstáculo para los pequeños y medianos empresas de diseño y producción. **(Systemes & Mendola 2005)**.

Los ingenieros de fabricación han adquirido habilidades especiales **(Cotet et al, 2008)**, con el manejo del hardware, procesamiento de datos, procesamiento del conocimiento, técnicas avanzadas de computación, interfaz de computadora humana, problemas ambientales y habilidades de gestión para la fabricación global.

Las prácticas de fabricación, la investigación y la educación carecen de un enfoque integrado, bajo el impacto de los nuevos conceptos de la manufactura. **(Katalinic 2009)**.

El PLM como estrategia empresarial mantiene la integridad de los datos del producto a lo largo de su ciclo de vida. **(Li et al, 2011)**.

Se están estableciendo estrategias para la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) basada en la transición de modelos de diseño asistido por ordenador (CAD) de simples recolectores de datos geométricos a fuentes de información completas para el ciclo de vida general del producto. **(Alemanni et al 2011)**.

El impulso para lograr el dominio virtual es con la ayuda de herramientas como el diseño asistido por ordenador (CAD), la ingeniería asistida por computadora (CAE) y el software de fabricación asistida por ordenador (CAM) mediante la interacción y la simulación en 3D.

Estas herramientas también son utilizadas para la planeación de la fabricación y la mano de obra en la planta. **(Mejía-Gutierrez et al, 2010) (Alemanni et al,2011)**.

La gestión del ciclo de vida del producto (PLM) y su equivalente en software, es decir, la gestión del ciclo de vida de las aplicaciones (ALM), son el proceso global que rige un

producto o servicio desde su inicio hasta el final de su vida para lograr lo mejor en los procesos de diseño y posterior fabricación, de una empresa (Ebert, 2013)

PLM / ALM combina procesos, personas y herramientas para la ingeniería efectiva de los productos, desde su inicio hasta el final del servicio. Implica conocimiento tácito de expertos y conocimiento explícito, codificado en procedimientos, procesos y herramientas. PLM / ALM se extiende desde el saber hacer hasta el saber-qué y el saber-por qué. (Ebert, 2013).

Cada vez es más importante que las organizaciones aceleren el ciclo de vida del desarrollo del producto. (Easthan et al 2014). Para hacer frente a estos desafíos, las empresas en décadas pasadas realizaron con el apoyo de tecnologías de fabricación, en la industria manufacturera, la producción en masa, que toma la ventaja de la escala de producción, a la ingeniería concurrente, que optimiza los procesos empresariales internos y la empresa virtual, que aprovecha el capital intelectual a través de la innovación colaborativa. (Gecevaska, 2011).

En el ciclo de vida de un producto existen una serie de procesos con objetivos similares y bien definidos que se agrupan como áreas de proceso. (Anisi et al,2013) (Chiabert et al, 2013)

El área de proceso es una secuencia de operaciones que se pueden representar en un flujo de trabajo. Chiabert et al (2013) muestra las operaciones como un flujo de trabajo representado en diagramas de descomposición donde se puede apreciar lo que se va a producir, ítems, las habilidades requeridas, destrezas, el responsable de la operación, reglas, un diagrama de la explicación paso a paso que describe cómo se alcanzarán objetivos específicos de desarrollo, Actividades. En la figura 9 se muestra un ciclo de vida de un producto desde su fase preliminar, pasando por la revisión, la liberación, el cambio si lo requiere, reemplazo y la obsolescencia.

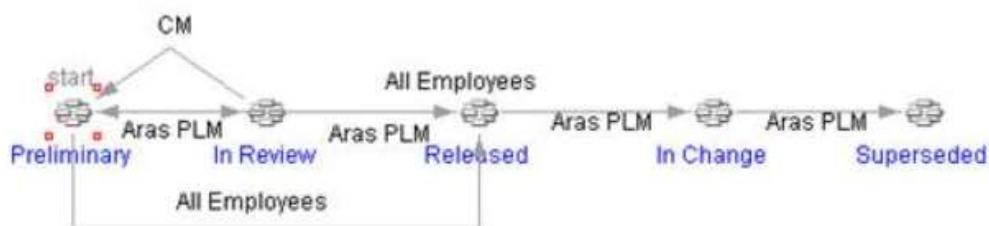


Figura 9. Visión general del Modelo Ciclo de vida del Producto PLM. (Aras Corporation 2010).

En otros estudios a cerca del PLM, se muestra la integración empresarial y la acción de la investigación se emplean como herramientas y como sirven como estrategias corporativas con el uso del PLM. (Mejía et al, 2010), Esto permite examinar los sistemas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) en el desarrollo de nuevos productos, el estudio desarrolló un modelo conceptual que relacione la capacidad de las empresas difundir y utilizar los

sistemas PLM. Permiten a las empresas integrar la información y el conocimiento a pesar de los límites funcionales y organizacionales en los contextos del diseño de nuevos productos. **(Tai,2017) (Ding et al,2009; Cantamessa et al, 2012; Mejía-Gutierrez et al, 2013; Merminod y Rowe, 2012).**

Cabe destacar que el PLM se distribuyen en el tiempo y el espacio y abarcan todas las etapas del ciclo de vida. Una de las tecnologías más eficaces para el desarrollo inteligente de sistemas distribuidos. **(Karasev & Sukhanov, 2017).**

Las prácticas del ciclo de vida pasan de negocios convencionales hacia un modelo enfocado en la prestación de servicios para satisfacer la necesidad de los clientes al interior o exterior de la empresa.

Diversas iniciativas medioambientales de una empresa parten del PLM desde el diseño hasta la vida útil del producto. **(Sousa et al, 2017).**

El PLM presenta la posibilidad de almacenar y organizar la información del producto; Y la posibilidad de organizar diferentes vistas de la misma información del producto (texto, imágenes, archivos CAD, entre otros.) adaptados para diferentes usos (diseño mecánico, Diseño, producción, control de gestión, otros.).

Zhu et al, (2016) analizan la tecnología de la definición basada en modelos y la gestión del ciclo de vida del producto. Las aplicaciones la relacionan con la computadora X para permitir la implementación de un sistema integrado de diseño y fabricación en la industria aeronáutica en China.

La adopción de tecnologías avanzadas en la fabricación inteligente requiere gestionar la interacción de la información en los Sistemas de servicios de los productos combinando este servicio con la Gestión del ciclo de vida del producto y la gestión del ciclo de vida del Servicio. Este enlace de la gestión del ciclo de vida del servicio y la gestión del ciclo de vida del producto se debe dar en las empresas manufactureras. El supuesto básico de muchos enfoques PLM es que los servicios y sus ciclos de vida están alineados con el producto. **(Sousa et al, 2017) (Wiesner et al, 2015).**

En los procesos de fabricación, la información puede ser suministrada por el ciclo de vida del producto. De esta manera se tiene que el PLM aumente la transparencia cubriendo todo el ciclo de vida desde la primera idea, el concepto para el reciclaje y la eliminación. **(Wiesner et al, 2015).**

**Wiesner et al (2015)** presenta los antecedentes y los desafíos las empresas manufactureras que desean presentar su negocio combinando sus productos con servicios. Para esto combinan la Gestión del ciclo de vida del producto y la Gestión del ciclo de vida del servicio en sistemas integrados de servicios de producto.

Frente a lo anterior es importante adquirir una visión sostenible de la gestión de vida del producto, **(Vila et al, 2015)**, esto se logra desde el inicio del concepto del producto a manufacturar. Los procesos aplicados se controlan mediante el diseño ecológico y la

fabricación en el ciclo de vida del producto. Esto hace posible aumentar la eficiencia desarrollo de productos y gestión sostenible del ciclo de vida. (Vila et al, 2015).

Liao et al (2015) recopila la literatura y la clasifica ciertos objetos en el marco de la arquitectura de una empresa, de manera que se pueda eliminar la Heterogeneidad semántica entre las aplicaciones empresariales a lo largo del ciclo de vida de un producto.

Otros enfoques del PLM se orientan a la calidad y al ciclo de vida de la ingeniería de producción integrada en la industria automotriz. Primero se analizan los actuales proyectos de ingeniería de producción y presentan desafíos metódicos, informativos y organizativos, fases del proyecto de la planificación del concepto que representan. Los fabricantes de automóviles en la actualidad están en una carrera desbordada frente a la innovación impulsadas por el mercado. El aumento del número de variables, la complejidad debido al aumento de la calidad, el aumento de los componentes mecatrónicos, entre otros, es donde las tendencias deben reportar cambios en los procesos productivos. (Kiefer et al, 2017). La investigación de la gestión del ciclo de vida de los productos tiende a centrarse en situaciones que responden al análisis y a la modelización formal. Sin embargo, en varios dominios como entornos colaborativos intensivos en conocimiento, no es posible modelar procesos usando anotaciones formales. (Ferreira et al, 2016).

Por otro lado, se estudia la utilización de los datos del ciclo de vida de los productos de los sistemas PLM en plataformas para la simbiosis industrial. Para ello previamente desarrollan la concordancia entre insumo-producto. Para ello introducen conceptos como la ingeniería de ontologías en herramientas y plataformas de sistemas de información. Se crean bases de datos para monitorear actividades de la industria, bases de datos personalizadas que permiten acceder de forma estructurada y no estructurada. (Halstenberg et al, 2016) (Ferreira et al 2016).

Haas et al, (2016) proponen un enfoque holístico del PLM para apoyar el diseño mediante los datos de la máquina, para ello se basan en un entorno experimental con varios sistemas (ERP: Planificación de recursos empresariales, PDM: Gestión de datos de producto, MES: Sistema de ejecución de fabricación, SCM: Gestión de la cadena de suministro, CRM: Gestión de relaciones con los clientes, CAD: diseño asistido por ordenador, CAM: Manufactura Asistida por ordenador, TMS: Sistema de gestión de herramientas). (Kiefer et al 2017). Basándose en una visión holística de la cadena de procesos y en un enfoque metódico, es posible establecer una bidirección de la información desde el orden y el diseño hasta la fabricación como resultado, se pueden lograr ventajas en las primeras etapas del ciclo de vida del producto. Especialmente en los costos del plan de diseño, enrutamiento, maquinabilidad y el tiempo de procesamiento.

En algunas empresas como la textil y la aeronáutica comenzaron a introducir la estrategia del PLM como manera de mejorar sus diseños. Los CAD son herramienta que son utilizadas en el PLM, por lo tanto, la industria textil en sus diferentes diseños realiza un seguimiento del desarrollo de estas herramientas aplicadas en este sector, a pesar de esto el uso de los CAD en el diseño de prendas, aun es limitado; esto se debe a que los softwares CAD son

de aplicación más en la ingeniería, son aun costosos, lo que impide que algunas empresas textiles y de confección inviertan más en materias primas. Otra causa es que el proceso de diseño de prendas se basa en patrones en dos dimensiones, los cuales se van ensamblando hasta forma la prenda. (Segonds et al 2014). El CAD presenta una contribución adicional en el diseño textil y es la capacidad de brindar simulaciones mecánicas para verificar que se cumpla con las especificaciones del producto, (Segonds et al 2014). Figura 10



*Figura 10. Un modelo de simulación y transformación "D-3D utilizado en la industria Textil, adaptado de Liu et al, 2010*

La aplicación de elementos finitos en el diseño de prendas textiles es mucho más compleja, esto hace que su uso no sea tan generalizado. Cuando se aplica se usa para la simulación de colisiones mecánicas, técnicas de interfaz del usuario, animación, renderizado, entre otros. (Segonds et al 2014). Sin embargo, aún se puede decir con cierta certeza, que aun no se tiene software que satisfaga todas las necesidades del sector textil y confección frente al diseño, de manera que emplee todas las funcionalidades de un PLM.

Mas et al, 2015, muestra en su investigación cómo el Product Lifecycle Management (PLM) impactó en el desarrollo de la industria aeroespacial de Europa y Estados Unidos. Para el estudio se centra en las empresas más importantes que han moldeado la industria aeroespacial. En el estudio trata como el PLM es una solución a situaciones de un proyecto que pretende agilizar el flujo de la información sobre el producto y los procesos que este tiene durante su ciclo de vida. Con el PLM se tiene la facilidad de tener disponible la información correcta en el momento indicado. A esto se le une las herramientas CAD, CAE, CAM, entre otras.

“El software PLM inició como desarrollos internos de la compañía en estrecha relación con los pioneros en la academia científica. Estas primeras aplicaciones internas se convirtieron en grandes compañías de software externas que ofrecían software PLM en el mercado. Los mejores ejemplos son Boeing-McDonnell Douglas McAuto vendido a EDS y Lockheed CADAM vendido a Dassault Aviation como el germen de Dassault Systems CATIA. En las

próximas generaciones 1 y 2, las aplicaciones comerciales PLM personalizadas cubren las necesidades complementadas con aplicaciones internas.” (Mas et al, 2015).

Mas et al 2015 manifiesta como conclusión en su investigación que, sin el PLM, la aeronáutica no hubiera llegado hasta hoy, el PLM ha permitido hacer frente a la complejidad de los procesos de diseño y producción, dentro de los tiempos y costos.

Es claro que el PLM ha influido en el desarrollo de las empresas con la gestión del ciclo de vida del producto y la aplicación de sus herramientas, sin embargo, en las investigaciones alrededor del mundo textil y el aeronáutico, en los journals consultados, no se evidencia una integración con el BPM que el tema que se tratará a continuación.

## **2.4 Estrategias combinadas.**

La combinación de estrategias en los procesos de diseño y producción en las empresas es fundamental, induce a sus ingenieros y demás personas que intervienen en los procesos al desarrollo del trabajo concurrente, empleando estrategias de integración de filosofías BPM con las herramientas EPC y PLM con Herramientas CAD, CAE, CAM entre otras, que permitan cambiar, modificar o rehacer en algunos casos los diseños o los procesos. La ingeniería concurrente/colaborativa han implicado una utilización de esta información por parte de los diferentes actores involucrados en el desarrollo, los cuales utilizaban y/o modificaban. (Mejía & Osorio, 2011).

A continuación, se va a presentar una revisión sobre la integración del Diseño con las filosofías BPM y PLM con sus respectivas herramientas. El objeto, después de haber mostrado el trabajo que se hace con el BPM y PLM es mostrar cómo se ha venido trabajando estas estrategias de forma colaborativa estableciendo en cierta forma modelos que influyen en los procesos de diseño o productivos.

La integración de las filosofías BPM y PLM con sus respectivas herramientas, permiten el desarrollo de nuevos productos, intercambiando el conocimiento de manera que se rompe con barreras organizacionales, geográficas, lingüísticas y culturales. La Gestión del Ciclo de Vida del Producto con las herramientas BPM proporcionan elementos que favorecen la conformación de equipos colaborativos entre los actores que participan en el proceso de diseño del producto (Mejía-Gutierrez et al,2012). Un ejemplo de integración entre las dos metodologías la plantean Mejía-Gutierrez et al (2012) en el proceso de diseño de plantas de tratamiento de residuos, mostrando como las integraciones de las dos filosofías mejoran el proceso de ingeniería. Mejía-Gutierrez (2012) en el caso de estudio que plantea, muestra cómo a través de la gestión del conocimiento se obtiene el modelo As-Is que comprende procesos básicos, operaciones, interacciones, roles y documentación. Los resultados fueron presentados en la herramienta Event Driven Process Chain de Aris Community, que es una herramienta del BPM. Del análisis de las debilidades y los errores de secuencia del proceso BPM del proceso, se creó un modelo To-Be. La

implementación del proceso PLM permitió identificar tres procesos que pertenecen a la etapa de diseño y dos a la fase de construcción. Para la implementación e integración del proceso PLM se utilizó el software ARAS de la ARAS Corporation.

Modelar un desarrollo de nuevos productos proporciona una imagen clara del proceso. Las simulaciones de los procesos permiten que los rendimientos sean más alcanzables. Por tal motivo las herramientas BPM son el vehículo que integra los procesos en la empresa, [\(Stentzel et al, 2014\)](#), con los procesos de ingeniería, PLM.

Srinivasan (2011) muestra en su proceso de investigación, en la estandarización de piezas la integración del PLM con sus herramientas como: el Diseño Asistido por Ordenador (CAD), Fabricación Asistida por Ordenador (CAM), Ingeniería Asistida por Ordenador (CAE) y Gestión de Datos de Producto (PDM). Estos desarrollos permiten que los objetos y procesos de ingeniería, brinden servicios que pueden comunicarse entre sí y ser utilizados en diferentes partes de un proceso, sin embargo, no emplea dentro de su propuesta la aplicación de BPM como una filosofía que integre desde la administración del proceso, desde los flujos de trabajo y el ciclo de vida de los mismos. [Srinivasan \(2011\)](#) en su investigación menciona como se hace necesario en algunas empresas la integración de las filosofías que conduzcan a cumplir los objetivos en los procesos de diseño.

La filosofía del PLM actúa como un sistema que integra de forma automática aplicaciones, que identifican acontecimientos que se presentan en el medio y actúan a la vez como una consecuencia. Tiene la capacidad de comunicarse cuando la información es insuficiente o no está disponible para la toma de decisiones, [\(Marchetta et al, 2011\)](#) en el desarrollo de un producto o proceso. Camba et al (2017) trabaja el proceso de integración con acciones estructuradas en 3D al PLM de manera que se desarrollen alrededor del diseño. Presenta una estrategia para organizar y gestionar la información que se almacena internamente en modelos CAD, esto lo hace por medio del PLM. Se describe la arquitectura en donde se tiene un componente de software para un entorno CAD y un módulo que se integra con el servidor PLM. Las investigaciones que se realizan en el ciclo de vida del producto tienen una tendencia a centrarse a situaciones de los procesos de diseño que intervienen en el análisis y la modelización. En otros entornos colaborativos a veces no es posible modelar procesos anotaciones formales. Cuando se integran otros procesos como la gestión del conocimiento y la colaboración se facilita el proceso colaborativo combinando procesos estructurados y no estructurados. [\(Ferreira et al 2017\)](#).

De acuerdo con la revisión realizada de journals, si bien es cierto que se encuentran las normas IEC 61400 -1 y 61400-2 para el diseño de pequeños aerogeneradores y que por ser una norma se tiene una estructuración al respecto de acuerdo con los procesos de diseño normalizados, no se encuentra evidencia en la literatura de integración del proceso con las filosofías BPM y PLM que permitan obtener un conocimiento expedito del proceso de diseño y de formación sobre los pequeños aerogeneradores. Las filosofías BPM y PLM con sus respectivas herramientas permiten crear un entorno colaborativo, fijar modelos de diseño, utilizar herramientas de computación, de estructuración que facilitan el entendimiento de las normas que existe sobre los pequeños aerogeneradores. Por esta razón se quiere presentar una propuesta de un modelo de integración de las dos filosofías

independiente de la norma IEC 61 400 en sus diferentes apartes que facilite la modelación de un proceso de diseño en el aprendizaje y posteriormente a futuro del diseño y fabricación de los pequeños aerogeneradores. Con la propuesta del modelo se quiere llegar a estatus de tecnólogos que y de ingenieros recién graduados que quieran incurrir en el estudio y diseño de pequeños aerogeneradores (SWT) de una forma colaborativa con la integración de las dos filosofías propuestas y sus respectivas herramientas.

### 3 FORMALIZACIÓN DE UN PROCESO DE DISEÑO DE SWT

La presente sección, así como la siguiente, se encuentran representados en la Figura 11. En ella se observan dos partes principales, donde la primera correspondiente a este capítulo y aborda lo que se denominará como Fase I y II. El segundo bloque (Ver sección 4) aborda las Fases III y IV. Lo anterior se explicará a continuación en mayor detalle.

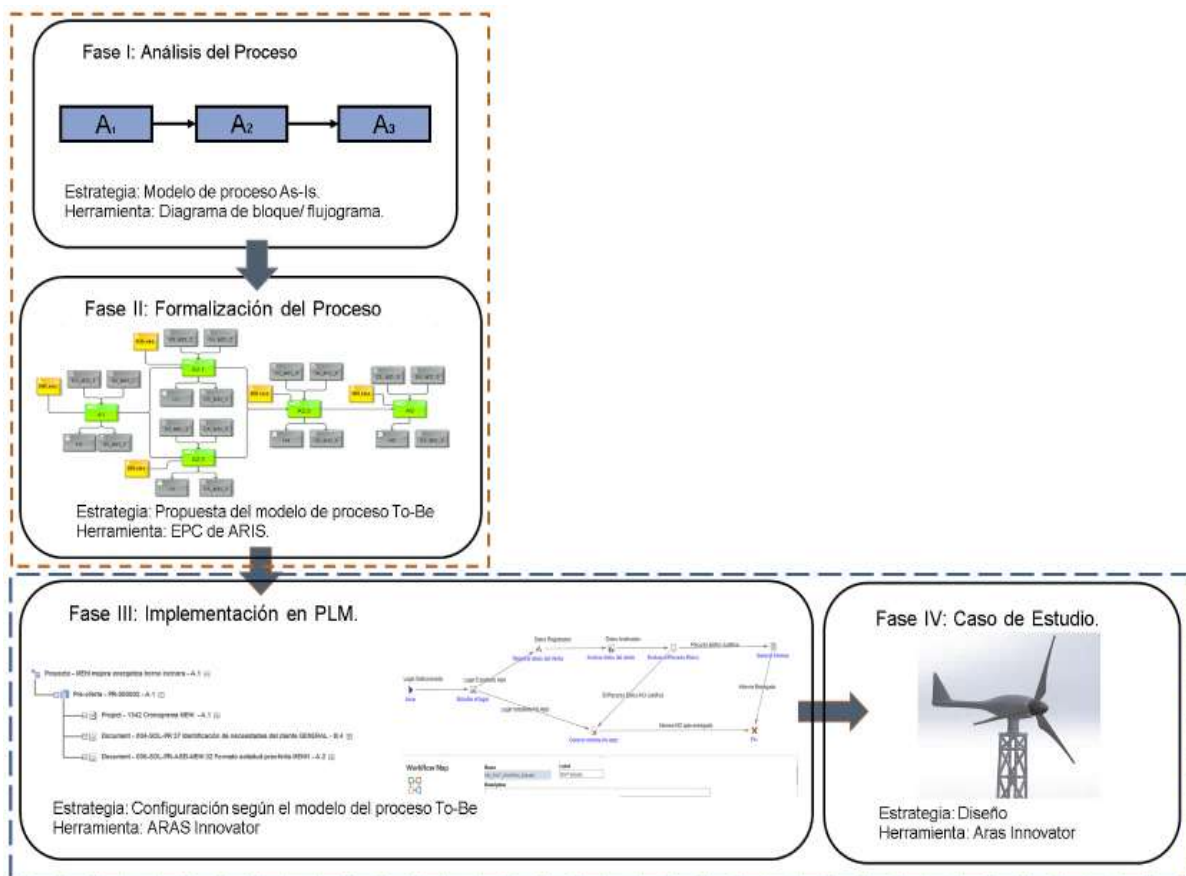


Figura 11. Proceso de construcción y validación del Proceso de Diseño del SWT.

El diagrama en su parte superior, explica la transición del modelo **As-Is** al modelo propuesto **To-Be**, en él se puede observar dos partes: La superior que muestra el modelo **As-Is**, que representa lo convencional, en donde emplean herramientas como flujogramas o diagramas de bloques para estructurar un modelo o metodología de diseño, esto se puede verificar en

las normas para el diseño del SWT, normas IEC 61400 -1 e IEC 61400-2, normas NTC 5725, NTC 224, NTC 5363, entre otras. El diagrama de bloques muestra un proceso A<sub>1</sub>, el proceso A<sub>2</sub> y el proceso A<sub>3</sub>, uno seguido del otro, lo que indica en su secuencia que se tiene que terminar el proceso A<sub>1</sub> para continuar con el proceso A<sub>2</sub>, y así hasta terminar el proceso de diseño. Estos procesos no son equivocados, pero por su arquitectura se hacen poco colaborativos y en algunos casos lentos, lo que impide que los procesos de diseño no sean pertinentes por su tardía respuesta.

En la segunda parte, la inferior de la misma fase, análisis del proceso, se presenta la formalización del proceso **To-be** en una arquitectura más amigable, que induce al trabajo colaborativo, al desarrollo de actividades en paralelo, donde se muestran documentos de entrada, instructivos y formatos con codificaciones de acuerdo a la ISO 9000, que comienzan con 03 para los instructivos, 04 para los formatos, documentos diligenciados de salida, con codificación que comienza con 05 y el rol de la persona, símbolo amarillo, encargada de desarrollar la actividad que se muestra en verde. Para la estructuración del modelo To-Be se utilizaron algunos símbolos de la EPC Aris Express de la empresa Aris Community que se muestran en la Figura 11. Estos son algunos de los muchos símbolos que tiene la Event Driven Process Chain de Aris. Con los símbolos se construye la arquitectura del modelo para luego integrarla al PLM y construir el Lifecycle y el workflow. Este tipo de arquitectura facilita integrar la filosofía del BPM con la filosofía del PLM. Que se muestra en la fase III.

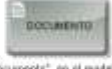
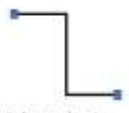
 <p>Para este modelo, este evento indica el ingreso a un estado, actividad, que debe ser ejecutada por el agente. El evento indica una acción ejecutada, por lo general en participo. "Lugar seleccionada"</p>	 <p>La "actividad" es el modelo es una acción que debe llevar al cumplimiento del objetivo (Target). Por lo general comienza con un verbo en infinitivo. "Estudiar el lugar Seleccionada"</p>	 <p>El "document", en el modelo que se está formalizando indica información de entrada y/o salida que se genera. En los documentos de entrada se leen los instructivos que se codifican de acuerdo a la norma ISO 9000 como <b>03_codigo en letras_#consecutivo</b>. Los formatos que se codifican con <b>04_codigo en letras_#consecutivo</b> y de salida se leen los registros codificados como <b>05_codigo en letras_#consecutivo</b>.</p>	 <p>El "Rol" es el modelo, se refiere a la función o cargo que desempeña la persona que desempeña la actividad, por ejemplo el rol instrumentista. El Rol se asigna a la actividad o conjunto de actividades. Es la persona que con su profesión desarrolla la actividad.</p>	 <p>Este conector "AND" (Intersección/Unión), sincroniza la entrada. Es una condición que exige que se cumpla las acciones simultáneamente. Unos orígenes corresponden a la activación de todas las rutas en el flujo de control al mismo tiempo, en forma paralela desarrolla la actividad.</p>	 <p>El conector "XOR" permite una bifurcación, a diferencia del conector "AND". Cuando se cumple la condición, una ramificación activa exclusivamente sólo uno de los flujos de control salientes y desactiva los otros. La contrapartida de una ramificación es una fusión o combinación.</p>	 <p>Permite la conexión entre eventos, actividades, roles, y documentos. Permitiendo crear la arquitectura del modelo.</p>
---	--	---	--	--	---	---

Figura 12. Símbolos de la EPC Aris Express de Aris Community para modelar la arquitectura de estudio y diseño.

La fase III, es la fase de implementación del modelo construido en la arquitectura EPC de Aris, modelo **To-be**. En esta fase se comienza a generar permisos, roles, ciclos de vida, workflow, y permite introducir la información que se va a procesar durante el desarrollo del estudio del lugar y del diseño en un software para el PLM. En este se integra otras herramientas diferentes a las del BPM, los CAD, los CAE y si posteriormente se piensa fabricar, los CAM. Esta fase es la entrada a la fase final IV, para implementar el modelo, el Caso de estudio. Es aquí donde se conjugan las filosofías del BPM y el PLM en un software, el ARAS Innovator de la empresa Aras Corporation. En Aras se construyen los Lifecycle que indica los estados del estudio y análisis del lugar del lugar, el Lifecycle de diseño, cada uno con los respectivos workflow.

### 3.1 Análisis del proceso de diseño de SWT

Para la identificación del modelo de diseño se tomó como base el estado del arte sobre metodologías BPM con las EPC y PLM con sus respectivas herramientas de diseño, además lo investigado sobre conceptos de diseño que actualmente se aplican para llegar a los SWT. Con base en la investigación se comienza a plantear un modelo estructural **As-Is** donde se establezca una base para formular luego el proceso **To-Be**. Para la formalización de la metodología de diseño se comienza por la conceptualización del proceso **As-Is** en el diseño de pequeños aerogeneradores, para ello se establece una estructura convencional de diseño en donde se plantean procesos generales, que son los que normalmente se encuentran en las normas, IEC 61400, IEC61400-1,61400-2 PARTE 1, 61400-2 Parte 2, NTC 5725, NTC224,NTC 5363, entre otras, para el diseño de pequeños aerogeneradores. Se comienza con la investigación sobre lo que existe en el medio de los pequeños aerogeneradores, su estructura, formas, cálculos y diseños. En la Figura 12. Siguiendo, se plantea la metodología As-Is de forma gráfica. Se puede observar que se estructura por bloques, en donde cada bloque indica un proceso. Sólo al terminar uno proceso comienza el otro, siendo los resultados del primero un insumo para el siguiente de todas formas se pueden presentar procesos paralelos.



Figura 13.(Diagrama As-Is de un proceso de Diseño)

La estructuración del modelo As-Is es necesario en la formalización de la metodología porque permite establecer una primera ruta de exploración, conceptualización y creación. Estas tres palabras establecen tres bloques que se pueden evidenciar como macros en la identificación del proceso para el inicio de construcción de la metodología de Diseño. Una vez establecidos los bloques se comienza a establecer actividades que apuntan a alimentar el desarrollo de los bloques en el proceso, estas actividades el proceso de diseño sea dinámico en su desarrollo evolucionando a un proceso To-Be.

### 3.2 Formalización del proceso de diseño de SWT

Una vez estructurado el modelo As-Is se comienza a construir el proceso de diseño del SWT elaborando la metodología bajo el modelo To-Be. Para ello se utiliza la Event Driven

Process Chain (EPC), de ARIS de la Aris Community<sup>1</sup>. Para poder comenzar la construcción de la EPC se tiene presente la figura 13. con los macroprocesos.



Figura 14. Integración del modelo To-Be.

En esta formalización se llegará hasta el proceso de diseño, esto porque el objetivo es una propuesta de integración entre el BPM y el PLM para el diseño de pequeños aerogeneradores. En la estructuración de la propuesta se quiere tomar lo que se hace normalmente, modelo **As-Is**, en el diseño de los SWT, y formalizarlo en un proceso utilizando la herramienta EPC ARIS de la Aris Community, y estructurarlo de manera que se obtenga un modelo **To-Be**. Para ello la EPC de la Aris Community que es una de las herramientas del BPM presenta para su estructuración los símbolos pertinentes para los eventos, actividades, personas, datos, roles, registros, entre otros que se emplean de acuerdo con proceso y/o estructura planteado. Para la estructuración del modelo en ARIS se emplea los símbolos de eventos, Actividades, documentos y roles y los respectivos conectores and, OR o XOR de acuerdo con las decisiones. En la figura 14 se muestra el modelo As-Is y el modelo To-Be. Se evidencia la formalización que permite hacer la herramienta EPC de ARIS. El proceso To-Be es secuencial, por eventos y lógico.



Figura 15. Integración del proceso As-Is y el proceso To-Be

<sup>1</sup> [www.ariscommunity.com](http://www.ariscommunity.com)

De igual forma se hace para la formalización del proceso de diseño, en la figura 15 se muestra el modelo As-Is, un solo proceso que se daría la impresión de ser independiente a los procesos: Análisis del lugar y análisis de las variables del lugar, sin embargo, los procesos se alimentan uno a otro. El modelo To-Be para el diseño permite ver la estructura que se formaliza en la EPC de ARIS.

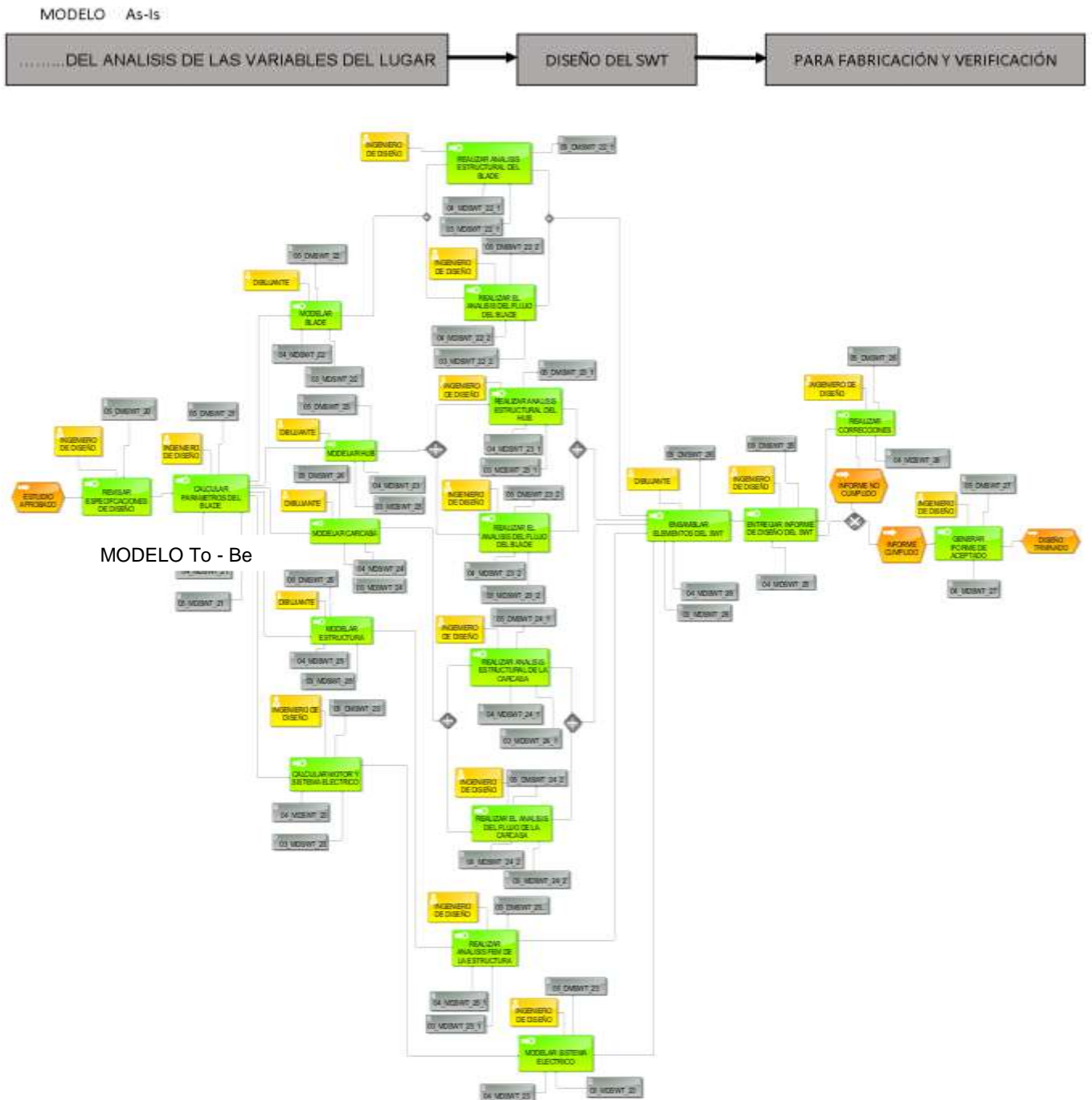


Figura 16. Integración del proceso As-Is y el proceso To-Be en Diseño.

El proceso de construcción del modelo To-Be se comienza con el evento “Seleccionar el Lugar” Figura 16, que tiene una salida hacia la actividad “estudiar el Lugar seleccionado”. Después de estudiar el lugar seleccionado, si este no es aceptado, Lugar no apto” se genera un informe de “lugar no apto” se da como finalizado y se vuelve al evento “Lugar seleccionado”. Figura 18.

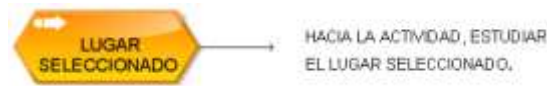


Figura 17 (Diagrama Aris, modelo To-Be de un proceso)

La actividad “estudiar el Lugar Seleccionado” en la figura 17, muestra la entrada que viene del evento “seleccionar el lugar” la entrada en la parte inferior de los instructivos y formatos, que son documentos que alimentan la actividad, al procesar la información de entrada se presentan tres salidas importantes: la superior muestra que la información sale hacia unos registros, hacia la derecha sale hacia el “Rol”, que es la función que debe ejecutar la persona indicada para el desarrollo de la actividad y por la derecha se sale hacia una toma de decisiones para analizar si se continua con el proceso o se vuelve al evento inicial.



Figura 18(Diagrama To-Be de un proceso de Seleccionar el Lugar)

En la figura 18 se muestra la estructura de la actividad “estudiar el lugar seleccionado, con sus respectivas entradas y salidas. Se puede ver que aparecen otros símbolos de color gris, indican los instructivos y formatos, entradas en la parte inferior de la gráfica, registros, salida, en la parte superior. Además, muestra un rectángulo amarillo que indica el rol, salida a la izquierda y una salida hacia una toma de decisiones XOR, a la derecha hacia dos eventos. Cada uno de los símbolos es unido por líneas conectoras.

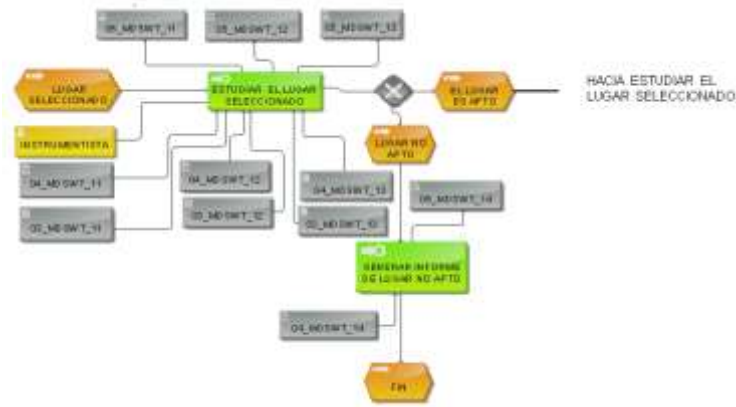


Figura 19 (Estructura de la Actividad “Estudiar el lugar seleccionado”. Representado en la EPC de Aris Community).

De esta forma se va construyendo el modelo de diseño del SWT en la EPC de Aris Express de la empresa Aris Community. Continuando con la que arquitectura del modelo que se propone se obtiene la estructura que se muestra en la figura 19.

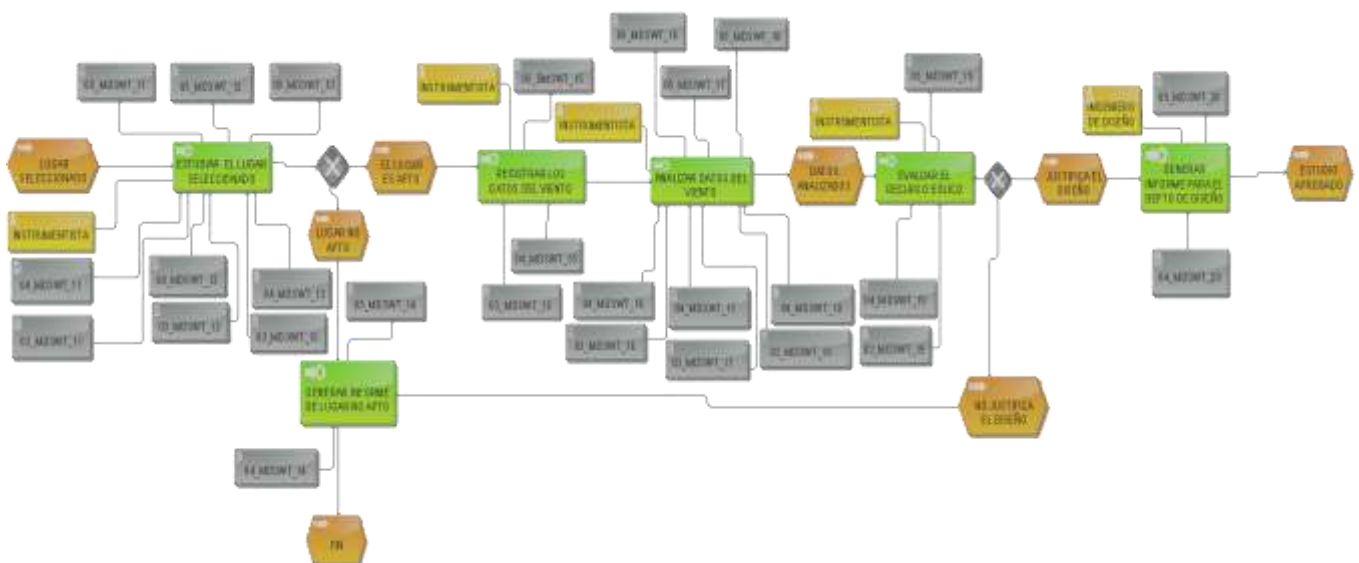


Figura 20. Estructura completa del modelo “estudio del lugar” representado en la EPC de Aris.

Se puede ver en el modelo planteado que es una estructura coherente, que no riñe con las normas para el diseño de SWT en los apartes del estudio del lugar y de los parámetros que se deben tener en cuenta. Este modelo no se encuentra en otros estudios de diseño de SWT donde se emplean metodologías convencionales para el diseño, es un complemento y apoyo para entender los procesos de estudio de las normas estipuladas para tal caso. La propuesta del modelo se puede extender hasta llegar a una arquitectura para fabricación, sin embargo, por el momento es mi interés llegar solo hasta el diseño, con la integración del BPM y el PLM. Para la construcción de la arquitectura del proceso de diseño se tiene

en cuenta cuatro secciones: Una sección inicial que contiene el evento de estudio aprobado, a este le siguen las actividades de “revisar especificaciones” y la actividad de “calcular parámetros del Blade” cada una con sus registros, formatos e instructivos respectivamente, además de su rol. Ver figura 20. La actividad de “calcular parámetros del Blade (Aspa)” tiene una salida hacia la sección siguiente, en donde se muestra la arquitectura del proceso de modelación de los componentes del SWT, Aspa, Hub, góndola, y estructura.



Figura 21. Comienzo del proceso constructivo del modelo To-Be de Diseño.

En la segunda sección se encuentran los procesos de modelación. En esta sección se integra la arquitectura de la EPC de Aris Express, herramienta del BPM con el software CAD, herramienta del PLM, para este caso Aras Innovator, es así como se construye el modelo To-Be para el proceso de diseño del SWT. Como en el caso anterior, la arquitectura comprende de actividades, que son los procesos de modelado más un proceso de cálculo y modelado del sistema eléctrico. En esta sección las actividades se pueden realizar de forma simultánea en forma colaborativa de manera que el software Aras integre posteriormente para el ensamble. Ver figura 21.

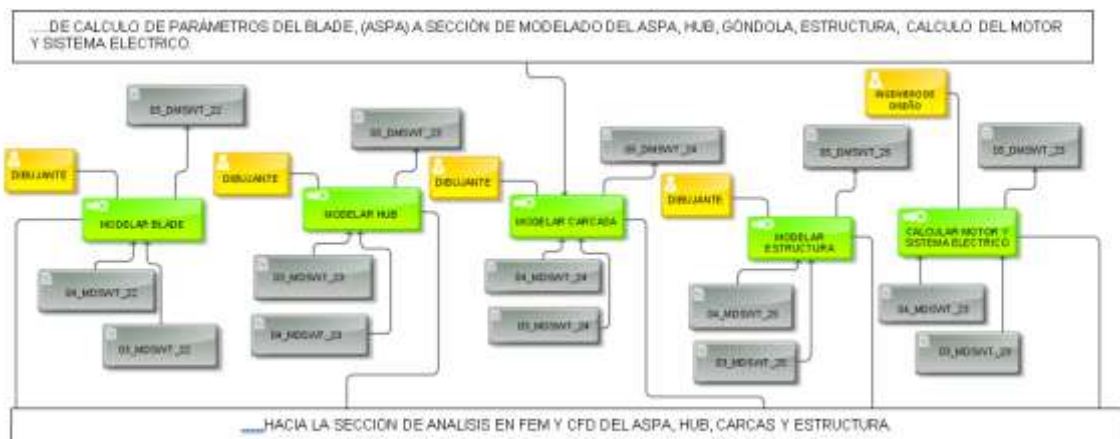


Figura 22. Segunda sección del modelo To-Be, modelo de diseño del SWT.

En la salida de la gráfica 22, hacia abajo, se llega a una toma de decisiones “OR” en donde se divide hacia dos tipos de análisis que se le pueden efectuar a cada una de las partes del SWT. Estos análisis se realizan de acuerdo con los estudios de los vientos en el lugar

seleccionado, sin embargo, no es por demás aquí plantearlos. En la figura 22 se muestran actividades en orden paralelo, análisis estructural y análisis CFD, estas actividades se pueden realizar simultáneamente. En el Software Aras Innovator estas actividades entran en forma paralela. Una vez más existe una integración de la EPC de Aris Express, del BPM y los softwares para análisis por elementos finitos y CFD.



Figura 23. Tercera sección del modelo To-Be, Arquitectura Aris del modelo de diseño del SWT, Análisis

De la tercera sección construida en la EPC de Aris express, pasa a la cuarta sección de ensamblaje, que es la cuarta actividad, Figura 23. En esta actividad se integra todos los componentes del SWT. De forma análoga a las actividades de las secciones anteriores, la actividad de ensamble consta de unas entradas, instructivos y formatos, una salida registros y una persona responsable, el rol.

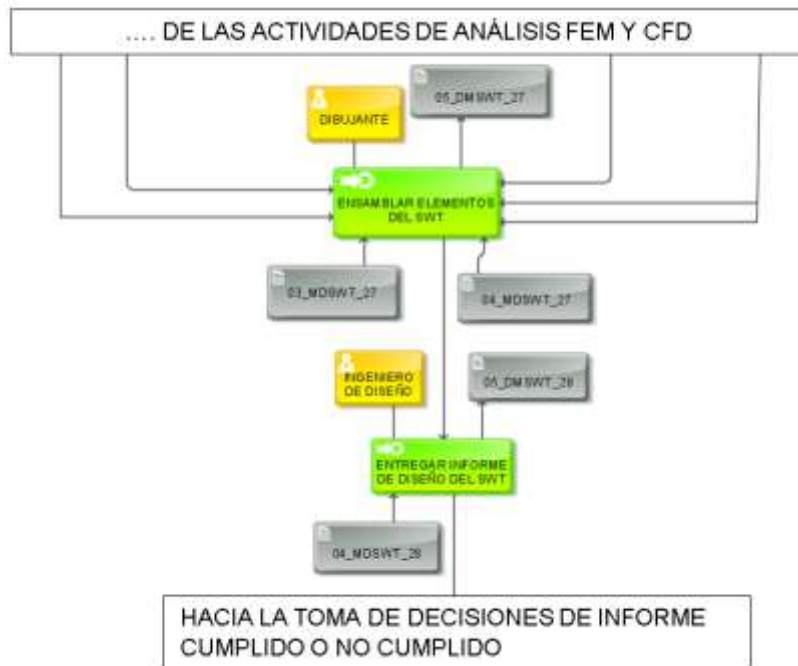


Figura 24. Actividad de ensamble Arquitectura EPC de Aris Express

Por último, se tiene una quinta sección de toma de decisiones, figura 24. En esta sección se muestra como el Proceso To-Be del diseño termina en un informe de cumplido o no cumplido la actividad de ensamble de acuerdo con la sección de modelado y a la sección de ensamble, si se cumple se genera el informe y se termina el diseño, si no se cumple se realizan las correcciones pertinentes. El fin del proceso del modelo To-Be termina con el evento “diseño Terminado”.



Figura 25. Sección quinta, final, del modelo To-Be, diseño del SWT

## 4 IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN

Para la implementación del proceso de diseño con la filosofía PLM, se requiere en primera instancia la estandarización de los procesos y los documentos. (Mejía-Gutierrez et al, 2010). La estandarización del proceso ya se ha venido mencionando a través del desarrollo de este artículo y se consolida con la propuesta del modelo To-be, aplicando la herramienta EPC de Aris. Figura 17 a la 24. En integración con el PLM. El modelo que es orientado en los procesos permite identificar “el que” el quién”, “el cómo”, “el cuándo”, esto conduce a que se realicen las actividades que conforman la arquitectura del proceso y determinar el tipo de información que se requiere en el desarrollo, de tal manera que el contenido asegure un modelo coherente. (Mejía-Gutierrez et al, 2010).

En el proceso de estandarización se empleó la estructura de gestión de documentos que plantea la ISO 9000, está representada en una pirámide donde la punta, parte superior, indica el documento manual, que para este caso no aplica, luego le sigue hacia abajo los instructivos codificados con el 03 seguido de las siglas nombre del modelo y por último un número consecutivo. Siguiendo en forma descendente se encuentran los formatos codificados con el numero 04 igualmente seguido de las siglas y un número consecutivo de acuerdo con el proceso. Y al final en la base están los registros codificados con el 05 igualmente seguido de las siglas y de un consecutivo. Ver figura 25.



Figura 26. Documentos con ejemplo de codificación que se introducen en el Software PLM Aras Innovator.

### 4.1 Implementación del proceso de diseño de SWT en PLM.

La implementación de la metodología en PLM se hace en el Software open Source ARAS INNOVATOR de la empresa ARAS Corporation. Para ello se establece una ruta que comienza con un establecimiento de la estructura que conforma un el equipo de diseño en una empresa. Esto con el objeto de asignar roles y responsabilidades y tener el perfil de la persona que se requiere para el desarrollo de la actividad y el trabajo colaborativo en el desarrollo de la metodología. La construcción de la metodología se requiere establecer una estructura de usuarios y darle los permisos para que alimenten al software de acuerdo con los instructivos y formatos, al desarrollo de los mismos y con la información que se obtiene en los registros.

#### 4.1.1 Estructura de usuarios

Para la formalización de estructura de usuarios se recurre a los diagramas organizacionales que presenta la EPC de Aris Community. En estos diagramas se pueden presentar un proceso de jerarquización que permitirá establecer después cómo será el proceso de asignación de permisos.

En EPC de ARIS Community se tiene una serie de organigramas que facilitan la construcción de la estructura de usuarios, a continuación, en el diagrama EPC se mostrara una propuesta de estructura organizacional, contribuyendo con el diseño de la metodología. Figura 27.



Figura 27. Estructura de usuarios SWT en EPC de Aris Community

Se plantea una estructura sencilla con el objeto de que sea de fácil interpretación para los lectores de este documento. Como se puede ver en la estructura anterior está conformada por un departamento de ingeniería en donde no se establece aun ningún rol y persona ya que en el departamento de ingeniería puede haber un grupo de personas a cargo. Luego baja a un segundo nivel donde se encuentra las áreas o staff que tiene el departamento de ingeniería. Para este diseño solo tiene tres. Área de Medio ambiente y análisis de datos, área de Diseño y modelación y un área de producción.

En un tercer nivel aparecen los nombres, pueden aparecer también el rol de las personas que trabajan en las áreas. Luego de tener claro como es la estructura se pasa a la

configuración de permisos. Para esto hay que tener presente las jerarquías y las actividades a desarrollar.

#### 4.1.2 Configuración de Usuarios.

El acceso a Aras Innovator se inicia con un proceso de autenticación de inicio de sesión. La persona que inicia la sesión es definida por un nombre, el usuario y una contraseña, se le asocia a una identidad llamada identidad de usuario y se define el perfil. Los nombres que se asignan como usuarios deben ser únicos en el proceso de registro e instalación. En la figura 28 se muestra el cuadro de dialogo donde se registran los datos de las personas que van a trabajar de acuerdo con los roles que se estructuraron en la figura 27, organigrama. En el cuadro de dialogo se presentan todos los metadatos necesarios para luego generar los permisos.

Figura 28. Caja de dialogo en donde se introducen los datos de los usuarios y se generan en usuario y la contraseña. (Aras Corporation).

#### 4.1.3 Configuración de identidades

En Aras existen dos tipos de identidades, la identidad del usuario, que ya se comentó y la identidad del grupo, estas también pueden contener otras identidades. Para la creación de las identidades del grupo se hace con base en la estructura organizacional mostrada en la figura 29. Es ahí donde se decide la especialidad, el rol, y la responsabilidad.

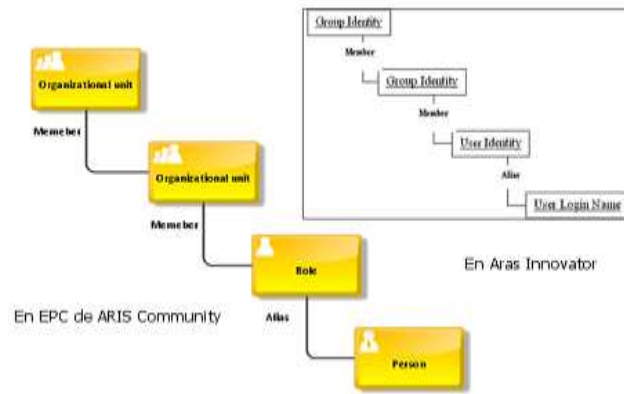


Figura 29. Estructura de usuarios en EPC y en Aras Innovar.

En la figura 28 se la estructura en cascada de un grupo de usuarios en ARAS Innovator, hasta llegar solo a un usuario final. Una vez establecida la estructura se comienza por asignar en Aras un Usuario, (Login name), y este se asigna a la persona, luego se asigna a esa persona una identidad, (User identity) que es el role, se asigna se asigna el usuario a un grupo,(group identity), este es asignado al grupo de trabajo y por último se asigna otro grupo, (Group identity) al grupo del departamento de diseño.

#### 4.1.4 Configuración de Permisos

Con el permiso asignado se permite el acceso a los usuarios a una instancia determinada, estos se crean des de el árbol de permisos TOC. Con los permisos se quiere controlar los privilegios tales como Obtener, actualizar, eliminar y puede cambiar el acceso. Los permisos se asignan al Item Type de la Parte. 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, et al., 2010).

A continuación, se muestra la tabla enumerando las identidades y los derechos asignados. Figura 30.

Para el modelo los permisos permiten que, en un determinado caso, por ejemplo, el asignado al modelado del aspa del SWT pueda realizar cambios para cumplir con los criterios de diseño.

Acción	Get	Update	Delete	Can Discover	Show Permiss...	Can change acc...
Área de Proyecto	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Departamento de di...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Innovator Admin	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dibujos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 30. Ventana de permisos, diseño del SWT. Software Aras (Aras Corporation)

#### 4.1.5 Configuración del Item Type

Los Item Type permiten controlar las definiciones, reglas y comportamientos que van a tener los elementos creados de acuerdo con el tema, ejemplo documentos del SWT, diseño del SWT, como se presenta en las figuras 28, 29 y 30. El Item type tiene una relación con los permisos y posteriormente establece la relación con los lifecycle y los workflow. Figura 31, 32 y 33.

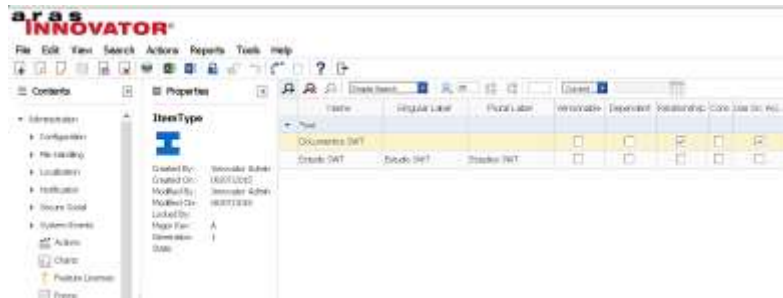


Figura 31. Relación de los usuarios con los diferentes estados del modelo, Documentos del SWT y Estudio del SWT

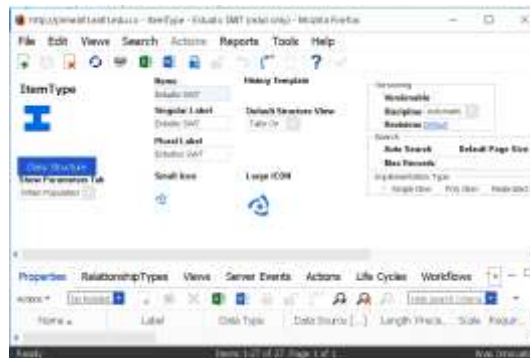


Figura 32. Item Type del estudio del SWT.



Figura 33. Item Type para los documentos

#### 4.1.6 Ingreso de los Documentos ARAS

Los documentos que se suben al software Aras Innovator, son los que estructuran el modelo de diseño y permiten que los usuarios se guíen en el desarrollo del modelo. Los documentos son los relacionados en la EPC de Aris, Tabla 2, y son los que van a dar soporte al modelo a medida que se desarrolla hasta llegar al evento, diseño terminado. En la tabla 1 se muestra la relación de los para el estudio del lugar, de forma análoga se construyó para el diseño. Los documentos se suben a Aras Innovator y se relacionan con los roles de pertinentes.

Tabla 2 . Relación de los instructivos, formatos y registros con la codificación propuesta.

ACTIVIDAD	INSTRUCTIVO	FORMATO	REGISTRO	NOMBRE
Estudiar el lugar seleccionado	03_MDSWT_11			Instructivo para caracterizar las barreras Vegetales
		04_MDSWT_11		Formato para registrar las barreras Vegetales
			05_MDSWT_11	Registro de las Barreras Vegetales
	03_MDSWT_12			Instructivo para caracterizar las barreras artificiales
		04_MDSWT_12		Formato para registrar las barreras Artificiales
			05_MDSWT_12	Registro de las Barreras Artificiales
	03_MDSWT_13			Instructivo para caracterizar las barreras Orograficas
		04_MDSWT_13		Formato para registrar las barreras Orograficas
		05_MDSWT_13	Registro de las Barreras Artificiales	
Generar el informe del lugar No apto		04_MDSWT_14		Formato para registrar el rechazo del lugar.
			05_MDSWT_14	Registro del rechazo del lugar de estudio
Registrar los datos del viento	03_MDSWT_15			Instructivo para registrar las velocidades de los vientos
		04_MDSWT_15		Formato para registrar las velocidades del viento
			05_MDSWT_15	Registro de las velocidades del viento
Analizar los datos del viento	03_MDSWT_16			Instructivo para obtener la curva del perfil del viento
		04_MDSWT_16		Formato para el registro de la gráfica del perfil del viento.
			05_MDSWT_16	Registro del perfil del viento.
	03_MDSWT_17			Instructivo para obtener la probabilidad de Weibull
		04_MDSWT_17		Formato par registrar el analisis de la probabilidad de Weibull
			05_MDSWT_17	Registro de la curva y Análisis de Weibull
	03_MDSWT_18			Instructivo para construir la rosa de los vientos
		04_MDSWT_18		Formato para registrar los datos de la rosa de los vientos.
		05_MDSWT_18	Registro de la grafica de la rosa de los vientos y la frecuencia.	
Evaluar el recurso eólico	03_MDSWT_19			Instructivo para la evaluación del recurso Eólico.
		04_MDSWT_19		Formato para el registro del Recurso Eólico
			05_MDSWT_19	Registro de la evaluación del recurso eólico

Una vez registrados los documentos en Aras, se presentan como se muestra en la figura 34.

Es de resaltar que un documento cuyo código comience por el índice “5” indica que es un registro, “4” que es un formato, “3” que es un instructivo, “2” que es un procedimiento que para este modelo no aplica. (Mejía- Gutiérrez, et al.,2010).

Document Number	Revision	Name	Type	State	Authoring Tool	Changes	Files	Templates	From Template
02_MDSRT_11	A	ESTUDIO DE LAS BARRERAS VE...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
01_MDSRT_12	A	ESTUDIO DE LAS BARRERAS ART P...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02_MDSRT_13	A	ESTUDIO DE LAS BARRERAS CIRCOS...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
01_MDSRT_14	A	INFORME DEL LUGAR	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
01_MDSRT_15	A	REGISTRO DE LOS DATOS DEL VIE...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02_MDSRT_16	A	ANALISIS DE LA DEL PERFIL DEL VI...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02_MDSRT_17	A	ANALISIS DE LOS VIENTOS CON L...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02_MDSRT_18	A	ANALISIS DE LAS PRECIPITACIONES Y...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
02_MDSRT_19	A	EVALUACION DEL RECURSO EOLICO	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05_MDSRT_21	A	DISEÑO Y SELECCION DE PARAME...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
03_MDSRT_22	A	MODELO DEL BLAZE (IGFA)	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_11	A	FORMATO PARA EL REGISTRO DE...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_12	A	FORMATO PARA EL REGISTRO DE...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_13	A	FORMATO PARA EL REGISTRO DE...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_14	A	FORMATO PARA REGISTRAR INFO...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_15	A	FORMATO PARA REGISTRAR LAS Y...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_16	A	FORMATO PARA REGISTRAR LA DE...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_17	A	FORMATO PARA REGISTRAR LA CL...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
04_MDSRT_18	A	FORMATO PARA REGISTRAR LA F...	General	Preliminary	Microsoft Excel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05_MDSRT_11	A	Ruiba 1	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
05_MDSRT_11.01	A	FORMATO PARA EL REGISTRO DE L...	General	Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Figura 34. Relación de documentos en Aras Innovator

#### 4.1.7 Construcción del ciclo de vida y los flujos de trabajo.

Para la construcción del ciclo de vida y del workflow se emplea la arquitectura de los modelos presentados anteriormente en la figura 20 en la EPC de Aris Express. Es aquí donde se comienza a integrar el BPM con sus herramientas con el PLM. Del modelo presentado en Aris, se toman las actividades, roles y demás información para entrarla en el software PLM ARAS Innovator.

En Mejía Gutiérrez, et al., (2010), 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

A continuación, se presenta el ciclo de vida del “estudio del lugar”, figura 35. En este ciclo de vida se observa el área de proyectos y cada uno de los estados por los que pasa el estudio de un lugar para ser probado y entregado o en su efecto rechazado. Los estados se relacionan con cada una de las actividades que se muestran en la arquitectura EPC del estudio del lugar.



Figura 35. Ciclo de vida, del “estudio del lugar” para el diseño de un SWT

En cada uno de los estados mostrados se realizan en su interior actividades que conducen al cumplimiento del estado y que se pueda pasar de un estado a otro. Hay estados que anteceden de tal manera que, al no completarlo, no se puede liberar el estado. En la figura 34, ciclo de vida del estudio del lugar se observa que existen los estados en estudio, en análisis, rechazado, en evaluación, en entrega y fin, en este último termina el ciclo de vida ya que de aquí pasa a otro proceso, si el estudio es exitoso. La figura 35 muestra el ciclo de vida del diseño del SWT. Al igual que ciclo de vida del “estudio del lugar” este se construye con base en el EPC de Aris, figura 20. Se puede ver que este ciclo de vida tiene relación con el anterior porque una vez se entrega los informes del estudio del lugar aprobados se comienza a estudiar especificaciones y cálculo de los parámetros se comienza a realizar el modelado, el análisis de las partes modeladas se pasa al ensamble s e presenta un error se devuelve hacia el modelado, sino se entrega y llega a su fin. De forma análoga al “estudio del lugar” al interior de cada estado del ciclo de vida existen actividades que permiten que el estado sea exitoso.



Figura 36. Ciclo de vida del “diseño del SWT”

En el flujo de trabajo que se presenta en la figura 36, workflow del “estudio del lugar” al igual que el de la figura 33, workflow de “diseño” estructuran las tareas, cómo se realizan, cuál es su orden correlativo, cómo se sincronizan, cómo fluye la información que soporta las tareas y cómo se le hace seguimiento al cumplimiento de las mismas, muestra cada una de las actividades a las que se entra a desarrollar cada una de las acciones en ellas registradas.



## 4.2 Caso de estudio de diseño de un SWT.

El caso de estudio se desarrolló en la ciudad de Medellín en los alrededores del SENA CTMA que tiene las siguientes características:

- ✓ La ciudad presenta un corredor de vientos de norte a sur con vientos que oscilan entre 3m/s a 6m/s a 50 metros de altura
- ✓ La infraestructura de la ciudad en general no alcanza alturas de 50 metros lo que permite una circulación constante de vientos.
- ✓ La ciudad presenta una barrera orográfica que canaliza la mayoría de los vientos en la misma dirección.
- ✓ Las barreras orográficas permiten la generación de viento de ladera a baja altura.

El equipo de trabajo que intervino en el proyecto está conformado por técnicos e ingenieros recién graduados

El procedimiento empleado por el equipo de trabajo es el siguiente:

- Se configuraron dos sub-equipos de técnicos y un sub equipo de ingenieros.
- Cada sub equipo técnico representa situaciones que se encuentran en el medio en lo relacionado con el diseño de pequeños aerogeneradores, SWT.

El modo de resolver el estudio del lugar para el diseño de SWT es asignar un método diferente a cada sub-equipo técnico (instruccional y empírico) para validar el proceso As-Is.

El sub-equipo de ingenieros se encargan de aplicar las filosofías del BPM y el PLM en el modelo propuesto To-Be empleando el software para integración Aras Innovator de la empresa Aras group.

El caso de estudio se desarrolla con el fin de mostrar que el modelo integración del BPM y el PLM, para el diseño de un SWT es viable e importante y más aún cuando en la literatura investigada no se evidencia la aplicación de estos modelos en el diseño de pequeños aerogeneradores, se evidencia de forma tímida la aplicación en otros campos como es la empresa automotriz, algunos astilleros, empresas de mantenimiento de moldes, entre otros. En la figura 39 se muestran las portadas de los instructivos utilizados tanto con el equipo de técnicos con instructivos como en el equipo de ingenieros. Para los ingenieros en el proceso de integración se suben los instructivos al software Aras Innovator y desde allí se administra la información. Figura 38.



Figura 39. Instructivos

### 4.3 Resultados.

En la gráfica 39, se muestra los resultados finales obtenidos por los sub-equipos. El sub-equipo de empíricos intentó construir el pequeño aerogenerador basado en vídeos de You Tube, los estudios de análisis del lugar y lo requerido para sugerir la aplicación de un pequeño aerogenerador no se consiguió. La metodología adoptada no fue la apropiada, el caso no fue exitoso. Sin embargo, se manifiesta por parte de los participantes un aprendizaje a cerca de los aerogeneradores y la energía eólica. En la encuesta realizada se observa un aprendizaje, apropiación y desarrollo de la metodología por medio empírico del tema del proyecto. En una evaluación de 1 a 5, siendo cinco (5) y uno (1) la más baja, se observa que, por medios empíricos, es complicado desarrollar un modelo para estudio y diseño de un SWT. En la gráfica 40, se puede observar que la evaluación del 20% está entre las calificaciones 2, 3, 4 y un 40% dio una calificación de 4.

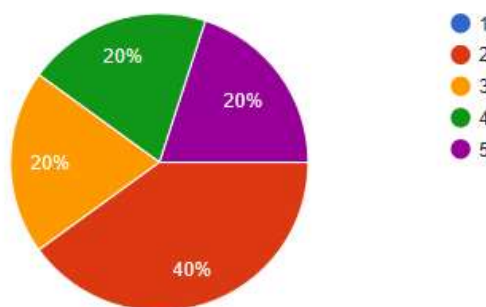


Figura 40. Resultados del aprendizaje, Apropiación y desarrollo del modelo por medio empírico

En la gráfica 40, a cerca del tiempo utilizado para el desarrollo de una metodología y obtener buenos resultados se puede ver que el sub-equipo de empíricos, un 20% dedicó cuatro horas, un 20% dedicó 2 horas y un 60% dedicó 3 horas. De la gráfica se puede deducir que existe una dificultad en el entendimiento de una metodología para diseño de SWT, a pesar de las horas dedicadas. Se presume que con una mayor dedicación posiblemente se pueda

llegar a un resultado positivo, sin embargo, se evidencia que se requiere tener un conocimiento previo para el desarrollo de una metodología.

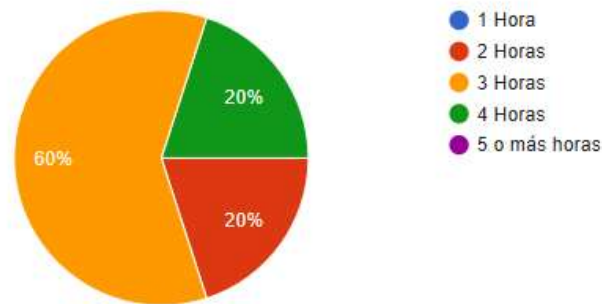


Figura 41. Tiempo desarrollado en la aplicación y apropiación de la metodología de forma empírica.

El Sub-equipo de ingenieros, frente a la pregunta sobre su apreciación de la integración del BPM y el PLM en el modelo propuesto, siendo uno(1) la peor apreciación y cinco (5) la mejor, se puede ver en la gráfica 41 que el 41.7% responde con una calificación de cinco (5) para la integración que significa excelente, el 25% considera una calificación de cuatro (4), que significa una buena integración, un 25% considera una nota de tres (3) que significa una integración adecuada y un 8.5% una nota de dos(2), que significa que aún falta.

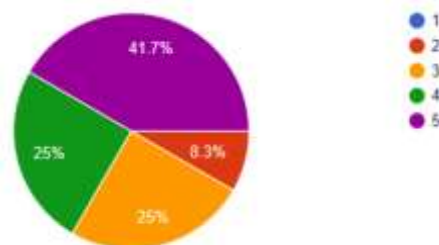


Figura 42. Apreciación de la integración del BPM con el PLM en el Software Aras Innovator.

En cuanto a la pregunta al sub-equipo de ingenieros si el Software Aras Innovator aplica para la integración del BPM y el PLM en el modelo propuesto. En la gráfica 42 se observa que el 50% de los participantes evalúan con cuatro (4) y el 50% restante lo evalúan con cinco (5)

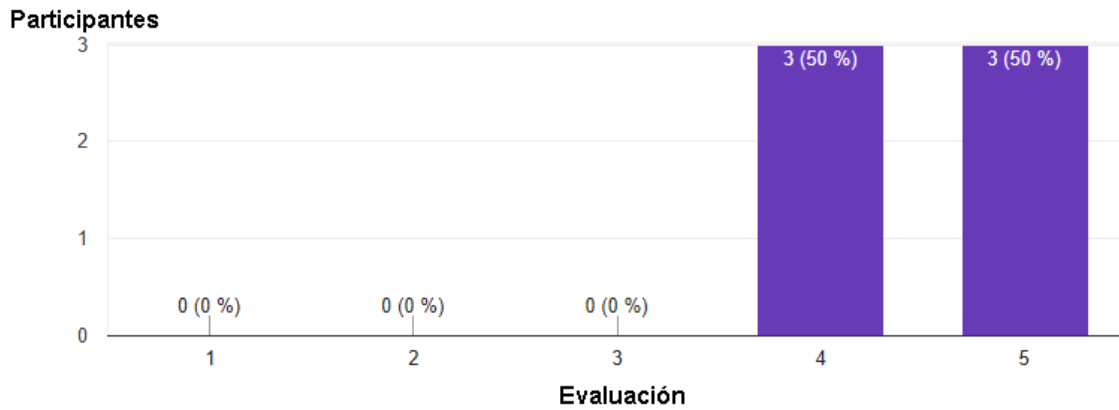


Figura 43. Evaluación del software Aras Innovator en el proceso de integración

Los resultados finales obtenidos, el sub-equipo de ingenieros lo evaluó de la forma como se muestra en la figura 43. En ella se puede ver que el 66.7% la evalúan con cuatro (4) que es una evaluación buena y el 33.3% la evalúan con cinco (5), que es una evaluación muy buena.

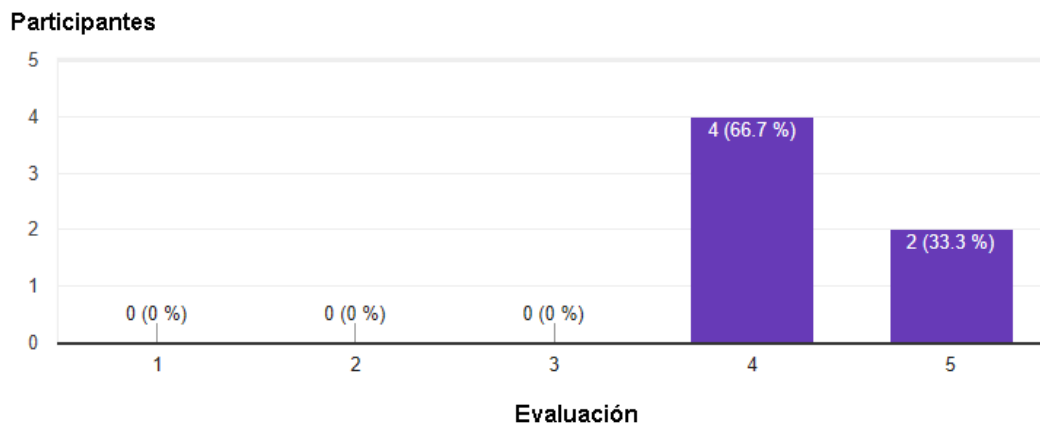


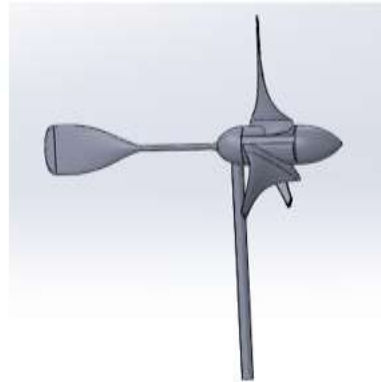
Figura 44. Evaluación de los Resultados de Sub-equipo ingenieros.

En la figura 44 se observa los resultados que se tuvieron en los tres sub-equipos. El sub-equipo que trabajó el proceso de manera empírica, le fue difícil llegar hasta una propuesta de diseño, el segundo su-equipo que trabajó con los instructivos llegó hasta una propuesta de diseño estructurada, posible y el tercero presenta una propuesta muy elaborada, más detallada, se evidencia una estructuración, más aerodinámica.

### Sub-equipo empíricos

El desarrollo del modelo por medio del proceso empírico no alcanzó a llegar a un proceso de modelación. Solo llegaron a una inspección del lugar y a hallar algunas bases de datos de vientos, no vigentes. El proceso de modelado no se desarrolló, se inclinaron más hacia un proceso constructivo directamente basados en videos de You Tube.

### Sub-equipo con instructivos



### Sub-equipo ingenieros



*Figura 45. Producto, Diseño del SWT por técnicos con instructivos y con la integración del BPM y el PLM*

## 5 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Con base en el estado del arte consultada se puede ver que, en Latinoamérica, se viene creciendo en la construcción de parques eólicos, como en Brasil, Argentina, Chile, Perú, Panamá entre otros países, sin embargo, se evidencia también que falta más información y estudios, del como las familias y empresas pueden aplicar a estos sistemas de energía renovable para adquirir una sustentación en el tiempo.

Aun se piensa en sistemas de generación eólica a gran escala lo que impide que este conocimiento no llegue a estratos inferiores en donde se pueda aplicar de forma individual.

Las investigaciones vienen avanzando a partir de los compromisos con la protección del medio ambiente lo que ha permitido que se mire la zona andina como una zona propicia para la energía eólica, incluso Colombia, con la búsqueda de otros tipos de vientos, así no sean constantes, para la aplicación individual de pequeños aerogeneradores.

En el estado del arte consultado, aproximadamente de cinco años atrás hasta el presente, se reconoce la aplicación de herramientas del BPM y el PLM en estudios de pequeños aerogeneradores (SWT), en casos aislados y puntuales, pero también se evidencia un vacío de la integración de las dos estrategias de manera que se pueda hacer más exequible la información del proceso de diseño. Aún los procesos de diseño y fabricación de pequeños y grandes aerogeneradores son potestad de multinacionales como sucede en Brasil con Enercón y Vestas.

De acuerdo con lo consultado en el estado del arte, se puede inferir que, con la integración de las dos estrategias, BPM y PLM, los aerogeneradores presentarían posiblemente menos inconvenientes en los procesos de diseño, fabricación, implementación, mantenimiento y disposición final.

Del caso de estudio realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- A pesar de que existen normas internacionales y nacionales para el diseño de pequeños aerogeneradores, estas son complejas en la metodología, lo que la hace exclusiva para personas muy preparadas en ingeniería.
- La integración de las estrategias BPM y PLM desarrolladas en el modelo To-Be son una buena propuesta para el entendimiento y entronización de procesos de diseño de pequeños aerogeneradores (SWT).
- El modelo propuesto To-Be propuesto, debe llevarse hasta proceso constructivos donde se recorra un ciclo de vida más amplio y poder simular las empresas actuales de fabricación de SWT.
- Se Requiere que las normas sean más amigables, entendibles, modelos As-Is, de manera que motive a establecer procesos de diseño de SWT.

- Los procesos de diseño de pequeños aerogeneradores por su complejidad requieren siempre de un equipo bien estructurado, de manera que el proceso de diseño sea confiable y seguro en su aplicación.
- Desde los años 60's El PLM viene implementándose con fuerza de tal manera que a este se debe el crecimiento de la industria aeronáutica como lo manifiesta Mas et al, 2015 en su trabajo de investigación. En Latinoamérica se vienen implementando políticas ambientales que contribuyen con la protección del medio ambiente y la proliferación de parques eólicos, hasta el punto de que el grupo EPM construyo en Chile un parque eólico. Este es el momento donde las empresas de diseño deben implementar el PLM y lo integren con el BPM para impulsar en Colombia y demás países de Latinoamérica, donde aún es tímida la decisión de tener un sostenimiento con base en la energía eólica.
- Por medio del BPM y el PLM se puede hacer más amigable el acceso a los procesos de diseño consignados en las normas IEC 61400-1 ,61400-2 y las normas colombianas que se basan en ellas.

## **6. TRABAJO FUTURO**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la importancia que tiene las filosofías del BPM y el PLM para el estudio del lugar y diseño de pequeños aerogeneradores, ya que en este campo existe un vacío, hasta hoy, de acuerdo al estado del arte, de un modelo estratégico que permita la integración de las dos filosofías se propone como trabajo futuro llevar el modelo hasta el proceso de fabricación, con esto se pretende ratificar el modelo propuesto e ir llenado el vacío en la aplicación de estudio y diseño de SWT.

## 6 REFERENCIAS

1. Araújo, A. M., Melo, G. M., De Medeiros, A. L. R., & Dos Santos, M. J. (2009). Simulación de la producción de energía eléctrica con aerogeneradores de pequeño tamaño. *Información Tecnológica*, 20(3), 37–44. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.4054it.08>
2. Pourrajabian, A., Nazmi Afshar, P. A., Ahmadizadeh, M., & Wood, D. (2016). Aero-structural design and optimization of a small wind turbine blade. *Renewable Energy*, 87, 837–848. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.002>
3. Edsand, H. E. (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, 49, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2017.01.002>
4. Contreras, J., & Rodríguez, Y. E. (2016). Incentives for wind power investment in Colombia. *Renewable Energy*, 87, 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.10.018>
5. Xu, J., Li, L., & Zheng, B. (2016). Wind energy generation technological paradigm diffusion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 436–449. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.271>
6. Bukala, J., Damaziak, K., Karimi, H. R., Kroszczyński, K., Krzeszowiec, M., & Malachowski, J. (2015). Modern small wind turbine design solutions comparison in terms of estimated cost to energy output ratio. *Renewable Energy*, 83, 1166–1173. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.05.047>
7. Garimella, K., Lees, M., & Williams, B. (n.d.). *para todos!*
8. Fleischmann, A. (2010). What Is S-BPM ?, 85–106.
9. Bucher, T., & Winter, R. (n.d.). Taxonomy of Business Process Management Approaches, 93–114. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01982-1>
10. Mendling, J., Baesens, B., Bernstein, A., & Fellmann, M. (2017). Challenges of smart business process management : An introduction to the special issue. *Decision Support Systems*, 100, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2017.06.009>

11. Gazova, A., Papulova, Z., & Papula, J. (2016). The Application of Concepts and Methods Based on Process Approach to Increase Business Process Efficiency. *Procedia Economics and Finance*, 39(November 2015), 197–205. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30284-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30284-2)
12. Gazova, A., Papulova, Z., & Papula, J. (2016). The Application of Concepts and Methods Based on Process Approach to Increase Business Process Efficiency. *Procedia Economics and Finance*, 39(November 2015), 197–205. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30284-2](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30284-2)
13. Van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M., & Weske, M. (2003). Business process management: a survey. *Business Process Management*, 2678, 1–12. [https://doi.org/10.1007/3-540-44895-0\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-44895-0_1)
14. Son, M. J., & Kim, T. W. (2014). Implementation of an executable business process management model for the ship hull production design process. *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 19(2), 170–184. <https://doi.org/10.1007/s00773-013-0238-x>
15. Bider, I., & Perjons, E. (2015). Design science in action: developing a modeling technique for eliciting requirements on business process management (BPM) tools. *Software and Systems Modeling*, 14(3), 1159–1188. <https://doi.org/10.1007/s10270-014-0412-6>
16. Mengoni, M., Graziosi, S., Mandolini, M., & Peruzzini, M. (2011). A knowledge-based workflow to dynamically manage human interaction in extended enterprise, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12008-010-0103-7>
17. Greenblatt, D., Schulman, M., & Ben-harav, A. (2012). Vertical axis wind turbine performance enhancement using plasma actuators. *Renewable Energy*, 37(1), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.06.040>
18. Van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M., & Weske, M. (2003). Business process management: a survey. *Business Process Management*, 2678, 1–12. [https://doi.org/10.1007/3-540-44895-0\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-44895-0_1)
19. Son, M. J., & Kim, T. W. (2014). Implementation of an executable business process management model for the ship hull production design process. *Journal of Marine Science and Technology (Japan)*, 19(2), 170–184. <https://doi.org/10.1007/s00773-013-0238-x>
20. Houy, C., Fettke, P., Loos, P., Houy, C., Fettke, P., & Loos, P. (2012). Process Management Research, 320–332.
21. Reijers, H. A., Slaats, T., & Stahl, C. (2013). Declarative modeling - An academic dream or the future for BPM? *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8094 LNCS, 307–322. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-40176-3\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-40176-3_26)

22. Stavenko, Y., Kazantsev, N., & Gromoff, A. (2013). Business Process Model Reasoning: From Workflow to Case Management. *Procedia Technology*, 9, 806–811. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.089>
23. Mu, W., Boissel-dallier, N., & Bénaben, F. (2014). Collaborative Mediation Information System Design Based on Model-Driven Business Process Management Approach, 139–150. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04948-9>
24. Tavlaki, E., & Loukis, E. (2000). Business Model: a theoretical concept or a necessary business tool?
25. Lemańska-Majdzik, A., & Okręglicka, M. (2015). Identification of Business Processes in an Enterprise Management. *Procedia Economics and Finance*, 27(15), 394–403. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01011-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01011-4)
26. Bae, H., Lee, S., & Moon, I. (2014). Planning of business process execution in Business Process Management environments. *Information Sciences*, 268, 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.12.061>
27. Bae, H., Lee, S., & Moon, I. (2014). Planning of business process execution in Business Process Management environments. *Information Sciences*, 268, 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.12.061>
28. Van Der Aalst, W. M. P. (1999). Formalization and verification of event-driven process chains. *Information and Software Technology*, 41(10), 639–650. [https://doi.org/10.1016/S0950-5849\(99\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0950-5849(99)00016-6)
29. Chavez, R., Yu, W., Jacobs, M. A., & Feng, M. (2017). Data-driven supply chains, manufacturing capability and customer satisfaction. *Production Planning & Control*, 28(11–12), 906–918. <https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1336788>
30. Lundgren, M., Hedlind, M., & Kjellberg, T. (2015). Model-driven Process Planning and Quality Assurance. *Procedia CIRP*, 33, 209–214. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.038>
31. Nakano, M., & Oji, N. (2017). Success factors for continuous supply chain process improvement: evidence from Japanese manufacturers, 5567(August). <https://doi.org/10.1080/13675567.2016.1219704>
32. Yu, W., Chavez, R., Jacobs, M. A., & Feng, M. (2016). Data-driven supply chain capabilities and performance: A resource-based view. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.002>
33. Korherr, B., & List, B. (2006). A UML 2 Profile for Event Driven Process Chains. *Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems*, 205, 161–172. <https://doi.org/10.1109/DEXA.2007.96>
34. Dallas, I., & Wynn, M. T. (2014). Information Systems for Small and Medium-sized Enterprises, 25–46. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-38244-4>

35. Process, B., Notation, M., Process, S. Q., & Studio, O. B. P. M. (n.d.). Process Modeling using, 1–21.
36. Systemes, D., & Mendola, M. (2005). PLM prospects, (October).
37. Katalinic, B. (2009). CYCLE MODULES FOR INDUSTRIAL ING, 743–745.
38. Alemanni, M., Destefanis, F., & Vezzetti, E. (2011). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2699-y>
39. Gutiérrez, R. M. (2011). Product Lifecycle Management ( PLM ), 1–16.
40. Penaranda, N., Mejia, R., Romero, D., & Molina, A. (2010). Implementation of product lifecycle management tools using enterprise integration engineering and action-research. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 23(10), 853–875. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2010.495136>
41. Ebert, C. (2013). Improving engineering efficiency with PLM / ALM, 443–449. <https://doi.org/10.1007/s10270-013-0347-3>
42. Eastham, J., & Sutton, S. M. (2014). PLM Software Selection Model for Project Management Using Hierarchical Decision Modeling With Criteria From PMBOK® Knowledge Areas, (September).
43. Gecevska, V., & Stojanova, T. (n.d.). Product lifecycle management tools, 219–223.
44. Aniši, Z., Veža, I., Suzi, N., Srem, N., & Or, A. (2013). IMPROVING PRODUCT DESIGN WITH IPS-DFX METHODOLOGY INCORPORATED IN PLM SOFTWARE, 3651, 183–193.
45. Tai, Y.-M. (2017). Effects of product lifecycle management systems on new product development performance. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2017.06.001>
47. Ding, L., Davies, Æ. D., & McMahon, Æ. C. A. (2009). The integration of lightweight representation and annotation for collaborative design representation, 185–200. <https://doi.org/10.1007/s00163-009-0077-2>
48. Cantamessa, M., Montagna, F., & Neirotti, P. (2012). Computers in Industry An empirical analysis of the PLM implementation effects in the aerospace industry. *Computers in Industry*, 63(3), 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2012.01.004>
50. Mejía-gutiérrez, R., Marroquín, C., & Giraldo-gomez, J. D. (2013). A Knowledge Management Approach through Product Lifecycle Management Implementation : An Industrial Case Study, 277–286.
51. Karasev, V. O., & Sukhanov, V. A. (2017). Product Lifecycle Management Using Multi-agent Systems Models. *Procedia Computer Science*, 103(October 2016), 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.034>

52. Sousa-zomer, T. T., Magalhães, L., Zancul, E., & Cauchick-miguel, P. A. (2017). Lifecycle management of product-service systems : a preliminary investigation of a white goods manufacturer. *The 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems*, 0(June), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.041>
53. Zhu, W., Bricogne, M., Durupt, A., Remy, S., Li, B., & Eynard, B. (2016). Implementations of Model Based Definition and Product Lifecycle Management Technologies: a Case Study in Chinese Aeronautical Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 485–490. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.664>
54. Wiesner, S., Freitag, M., Westphal, I., Thoben, K.-D., & Boucher, X. (2015). ScienceDirect 7th Industrial Product-Service Systems Conference -PSS, industry transformation for sustainability and business Interactions between Service and Product Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, 30, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.018>
55. Vila, C., Abellán-Nebot, J. V., Albiñana, J. C., & Hernández, G. (2015). An Approach to Sustainable Product Lifecycle Management (Green PLM). *Procedia Engineering*, 132, 585–592. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.608>
56. Liao, Y., Lezoche, M., Panetto, H., Boudjlida, N., & Loures, E. R. (2015). Semantic annotation for knowledge explicitation in a product lifecycle management context: A survey. *Computers in Industry*, 71, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.03.005>
57. Kiefer, J., Allegretti, S., & Breckle, T. (2017). Quality- and Lifecycle-oriented Production Engineering in Automotive Industry. *10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME 2016*, 62, 446–451. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.086>
58. Ferreira, F., Faria, J., Azevedo, A., & Marques, A. L. (2017). Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments: An application to automotive industry. *International Journal of Information Management*, 37(1), 1474–1487. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.006>
59. Halstenberg, F. A., Lindow, K., & Stark, R. (2017). Utilization of Product Lifecycle Data from PLM Systems in Platforms for Industrial Symbiosis. *Procedia Manufacturing*, 8(October 2016), 369–376. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.047>
60. Kiefer, J., Allegretti, S., & Breckle, T. (2017). Quality- and Lifecycle-oriented Production Engineering in Automotive Industry. *10th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME 2016*, 62, 446–451. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.06.086>
61. Wang, T. G., Wang, L., Zhong, W., Xu, B. F., & Chen, L. (2012). Large-scale wind turbine blade design and aerodynamic analysis. *Chinese Science Bulletin*, 57(5), 466–472. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4856-6>
62. Wang, S., & Chen, S. (2008). Blade number effect for a ducted wind turbine †, 22, 1984–1992. <https://doi.org/10.1007/s12206-008-0743-8>

63. Porté-agel, L. P. C. F. (2009). A Wind-Tunnel Investigation of Wind-Turbine Wakes : Boundary-Layer Turbulence Effects, 129–149. <https://doi.org/10.1007/s10546-009-9380-8>
64. Takizawa, K., Henicke, B., Tezduyar, T. E., & Yuri, M. H. (2011). Stabilized space – time computation of wind-turbine rotor aerodynamics, 333–344. <https://doi.org/10.1007/s00466-011-0589-2>
65. Wright, A. K. Å., & Wood, D. H. (2004). The starting and low wind speed behaviour of a small horizontal axis wind turbine, 92, 1265–1279. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2004.08.003>
66. Bystryk, J., & Sullivan, P. E. (2011). Journal of Wind Engineering Small wind turbine power control in intermittent wind gusts. *Jnl. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(5), 624–637. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.03.001>
67. Audierne, E., Elizondo, J., Bergami, L., Ibarra, H., & Probst, O. (2010). Analysis of the furling behavior of small wind turbines. *Applied Energy*, 87(7), 2278–2292. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.019>
68. Whale, J. (2009). Design and construction of a simple blade pitch measurement system for small wind turbines. *Renewable Energy*, 34(2), 425–429. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.007>
69. Abe, K., Nishida, M., Sakurai, A., Ohya, Y., Kihara, H., Wada, E., & Sato, K. (2005). Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser, 93, 951–970. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2005.09.003>
70. Ahshan, R., Iqbal, M. T., & Mann, G. K. I. (2008). APPLIED Controller for a small induction-generator based wind-turbine, 85, 218–227. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.005>
71. Fleck, B., & Huot, M. (2009). Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use. *Renewable Energy*, 34(12), 2688–2696. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.06.016>
72. Nanayakkara, N., Nakamura, M., & Hatazaki, H. (1997). PREDICTIVE CONTROL OF WIND TURBINES IN SMALL POWER SYSTEMS AT HIGH TURBULENT WIND SPEEDS, 5(8), 1063–1069.
73. Lanzafame, R., & Messina, M. (2009). Design and performance of a double-pitch wind turbine with non-twisted blades. *Renewable Energy*, 34(5), 1413–1420. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.09.004> Sharpe, T., & Proven, G. (2011).
74. Sharpe, T., & Proven, G. (2011). Crossflex : Concept and early development of a true building integrated wind turbine. *Energy & Buildings*, 42(12), 2365–2375. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.07.032>
75. Development, R., Wind, S., Gómez-rivera, W., Aperador-chaparro, W., Delgado-tobón, E., Gómez-rivera, W., ... Delgado-tobón, E. (2011). Desarrollo de rotores para turbina

eólica de 200 vatios mediante la implementación de tecnología local 1, 15(1), 303–318.

76. Mishnaevsky, L., Freere, P., Sinha, R., Acharya, P., & Shrestha, R. (2011). Small wind turbines with timber blades for developing countries : Materials choice , development , installation and experiences. *Renewable Energy*, 36(8), 2128–2138. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.034>
77. Chen, C. P., & Kam, T. Y. (2011). Procedia Engineering Failure Analysis of Small Composite Sandwich Turbine Blade Subjected to Extreme Wind Load. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.248>
78. Barlas, T. K. Ã., & Kuik, G. A. M. Van. (2010). Progress in Aerospace Sciences Review of state of the art in smart rotor control research for wind turbines. *Progress in Aerospace Sciences*, 46(1), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2009.08.002>
79. Ã, A. G., Johnstone, C., & Kelly, N. (2008). Urban wind energy conversion : The potential of ducted turbines, 33, 1157–1163. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.08.005>
80. Walker, S. L. (2011). Building mounted wind turbines and their suitability for the urban scale — A review of methods of estimating urban wind resource. *Energy & Buildings*, 43(8), 1852–1862. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.032>
81. Al-bahadly, I. (2009). Energy for Sustainable Development Building a wind turbine for rural home. *ESD*, 13(3), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.06.005>
82. Poole, S., & Phillips, R. (2015). Rapid Prototyping of Small Wind Turbine Blades Using Additive Manufacturing, 189–194.
83. Wang, T. G., Wang, L., Zhong, W., Xu, B. F., & Chen, L. (2012). Large-scale wind turbine blade design and aerodynamic analysis. *Chinese Science Bulletin*, 57(5), 466–472. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4856-6>
84. Qiao, Y., Han, J., Zhang, C., & Chen, J. (2012). Modeling Smart Structure of Wind Turbine Blade, 491–498. <https://doi.org/10.1007/s10443-011-9210-2>
85. Kádár, P., & László, I. (2012). Wind Measurement Analysis for Deployment Urban Small Scale Wind Turbine, 369–372.
86. Rafiee, R., Tahani, M., & Moradi, M. (2016). Simulation of aeroelastic behavior in a composite wind turbine blade. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 151, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.01.010>
87. Koulagi, G., Hosmath, R. S., Madival, A., & Revankar, P. P. (2018). Techno-Societal 2016, 65–73. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53556-2>
88. Haridas, P. D., & Parkhe, A. K. (2018). Techno-Societal 2016, 201–213. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53556-2>

89. Gutiérrez, R. M., & Gómez, G. O. (2012). Integrated design and development of complex systems under a PLM approach : a sustainable transportation system case study, *6*(1), 1–14.
90. Stentzel, T., Niknam, M., & Ovtcharova, J. (2014). Comparison Framework for PLM Maturity Models, 355–364.
91. Srinivasan, V. (2011). An integration framework for product lifecycle management. *Computer-Aided Design*, *43*(5), 464–478. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.12.001>
92. Marchetta, M. G., Mayer, F., & Forradellas, R. Q. (2011). A reference framework following a proactive approach for Product Lifecycle Management. *Computers in Industry*, *62*(7), 672–683. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.04.004>
93. Ferreira, F., Faria, J., Azevedo, A., & Marques, A. L. (2017). Product lifecycle management in knowledge intensive collaborative environments: An application to automotive industry. *International Journal of Information Management*, *37*(1), 1474–1487. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.05.006>
94. Echeverri, C. M. (2010). MANUFACTURING PROCESS PLANNING UNDER A PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT APPROACH.
95. Mengoni, M., Graziosi, S., Mandolini, M., & Peruzzini, M. (2011). A knowledge-based workflow to dynamically manage human interaction in extended enterprise, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12008-010-0103-7>
96. Scheer, A., Nüttgens, M., Wirtschaftsinformatik, I., Saarlandes, U., Geb, I. S., & Saarbrücken, D.-. (2000). ARIS Architecture and Reference Models for Business Process Management, 376–389.
97. Lund, J. G., Fife, N. L., & Jensen, C. G. (2005). PLM-based parametrics for design automation and optimization. *Computer-Aided Design and Applications*, *2*(1–4), 37–45. <https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738351>
98. Nikolić, V., Sajjadi, S., Petković, D., Shamshirband, S., Čojbašić, Ž., & Por, L. Y. (2016). Design and state of art of innovative wind turbine systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *61*, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.052>
99. Lund, J. G., Fife, N. L., & Jensen, C. G. (2005). PLM-based parametrics for design automation and optimization. *Computer-Aided Design and Applications*, *2*(1–4), 37–45. <https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738351>
100. Li, J., Chen, J., & Chen, X. (2011). Aerodynamic response analysis of wind turbines. *Journal of Mechanical Science and Technology*, *25*(1), 89–95. <https://doi.org/10.1007/s12206-010-0909-z>
101. Ā, M. I., Ting, D. S., & Fartaj, A. (2008). Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines, *12*, 1087–1109. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.023>

102. Chen, Z., Jiang, X., Zhou, Z., Xiao, H., Huang, Y., Mou, B., ... Wang, Y. (2008). Progress in application of CFD techniques. *Science in China, Series E: Technological Sciences*, 51(7), 827–841. <https://doi.org/10.1007/s11431-008-0084-y>
103. Pramod, B. M., & Shrirang, P. C. (2018). *Techno-Societal 2016*, 85–91. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53556-2>
104. Y.-J. Liu, D.-L. Zhang, M.M.-F. Yuen, A survey on CAD methods in 3D garment design, *Comput. Ind.* 61 (2010) 576–593.
105. Segonds, F., Mantelet, F., Nelson, J., & Gaillard, S. (2015). Proposition of a PLM tool to support textile design: A case study applied to the definition of the early stages of design requirements. *Computers in Industry*, 66, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.08.002>
106. Mas, F., Arista, R., Oliva, M., Hiebert, B., Gilkerson, I., & Rios, J. (2015). A Review of PLM Impact on US and EU Aerospace Industry. *Procedia Engineering*, 132, 1053–1060. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.595>