



Project management for manufacturing using PMI's foundation in PLM technologies.

Gestión de proyectos para fabricación usando fundamentación del PMI en tecnologías de PLM.

JORGE ESTEBAN MONTOYA CANO

Tesis de Maestría en Ingeniería.

Énfasis en:

Administración y Sistemas de Información.

**Universidad EAFIT
Escuela de Ingeniería.
Medellín, Colombia, 2016.**



Project management for manufacturing using PMI's foundation in PLM technologies.

ING. JORGE ESTEBAN MONTOYA CANO

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Maestría en Ingeniería

Director:
Msc. Esp. Ing. Carlos Mario Echeverri Cartagena

Líneas de Investigación:
Administración a través del ciclo de vida del producto (PLM) -
Sistemas de información.

**Universidad EAFIT
Escuela de Ingeniería.
Medellín, Colombia, 2016.**

Dedicatoria

A mis padres Alfredo Montoya y Rocío Cano, mi profesor tutor Carlos Echeverri, Andrés Álzate y Sara Echeverri por ser un apoyo incondicional en todo momento.

Agradecimientos

Primero a mi más grande benefactor, a Dios por permitirme vivir esta gran experiencia y poner a personas excepcionales en mi camino. Gracias a mis padres por su infinita paciencia y apoyo en todos los momentos.

Igualmente, deseo expresar mi más sincero agradecimiento al profesor Carlos Mario Echeverri Cartagena y al Ingeniero Andrés Felipe Álzate Graciano por su colaboración en la preparación de este manuscrito, por todo el soporte y por confiar en mí para el desarrollo de este gran proyecto.

Por siempre mi agradecimiento será especial a la **Universidad EAFIT**, en la cual siempre encontré el apoyo para el desarrollo de proyectos con múltiples enfoques en un entorno de innovación y excelencia académica.

In a globalization environment that is constantly changing, in which engineering solutions respond to more complex situations. Product development and the research related to product life cycle management (PLM) is crucial for organizations. To cope this situation, during the last decade engineering equipment manufacturers are trying to improve their knowledge and performance in the area of project management with the effective use of management methods and technologies for the same. However, the challenges found are not isolated and therefore a systemic approach is required.

Therefore, this thesis is aimed to the manufacturing industry in order to improve: project management, product development and engineering processes involved for machines manufacturing, providing systemic and inclusive guidelines. To achieve this improvement, the foundation framework of the Project Management Institute (PMI), Business Process Modeling (BPM) and Information Technologies of Product Lifecycle Management (PLM) is used.

Keywords: Product Lifecycle Management (PLM), Key performance Indicators (KPI), Project Management (PM), Business process Management (BPM), process, Efficiency, machines.

En un entorno de globalización que se encuentra en constante cambio, en el que cada vez las soluciones de ingeniería responden a situaciones de mayor complejidad, el desarrollo de productos y la investigación acerca de la administración del ciclo de vida de productos resulta vital para las organizaciones. Para hacerle frente a esta situación, durante la última década los fabricantes de equipos de ingeniería están tratando de mejorar su conocimiento y rendimiento en el área de gestión de proyectos con el uso efectivo de métodos de gestión. Sin embargo, los retos encontrados no son problemas aislados y por tanto un enfoque sistémico es requerido.

Por lo anterior, esta tesis está dirigida a la industria de fabricación con el objetivo de mejorar la gestión de proyectos, el desarrollo de productos y los procesos de ingeniería inmersos en la fabricación de máquinas, brindando lineamientos de manera sistémica e integradora. Para lograr esta mejora, se emplea el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI), la modelación de procesos en sistemas de Business Process Management (BPM) y tecnologías de información de Product Lifecycle Management (PLM).

Palabras Clave: Administración a través del ciclo de vida del producto (PLM), Indicadores de rendimiento (KPI), Administración de proyectos (PM), Gestión por procesos (BPM), procesos, eficiencia, máquinas.

Documentos Anexos

PAPER A:

Technologies for manufacturing: Product Lifecycle Management approaches in Colombia.

PAPER B:

Diseño y fabricación de aerogeneradores en proyectos académicos de ingeniería de producción bajo el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI).

PAPER C:

Aplicación del marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI) para la asignatura Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos.

PAPER D:

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

PAPER E:

Implementación de metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLMS).

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	17
1.1. Definición del problema	17
1.2. Justificación de la investigación.....	19
1.3. Visión, objetivos y preguntas de la investigación	20
2. Método de investigación	23
2.1. Enfoque desde la ciencia y la ingeniería.....	23
2.2. Metodología de la investigación	23
2.3. Datos, información y Conocimiento.....	25
3. Estado del arte.....	26
3.1. Introducción.....	26
3.2. Administración de proyectos.....	27
3.2.1. ¿Qué es?	27
3.2.2. Ciclo de vida del proyecto	28
3.2.3. Procesos de la dirección de proyectos	28
3.3. Proceso de diseño y fabricación de máquinas	29
3.4. Formalización de procesos.....	30
3.4.1. Metodología	30
3.4.2. Key performance indicators (KPI)	31
3.4.3. Business Process Management (BPM)	32
3.4.4. As- is.....	35
3.4.5. To- be.....	36
3.5. Product lifecycle management (PLM).....	37
3.5.1. ¿Qué es?	37
3.5.2. PLM como estrategia.....	40
3.5.3. PLM como sistema de información (SI)	41
3.5.4. Aplicación de PLM	41

3.5.5.	Conclusión	43
3.6.	Análisis de herramientas PLM/ALM.....	43
4.	Determinación del proceso de diseño y fabricación de máquinas.	49
4.1.	Proceso de fabricación no formal (Sin metodología)	49
4.2.	Proceso de fabricación formalizado - Modelo AS- IS.....	51
4.3.	Proceso propuesto de fabricación – Modelo TO-BE.....	57
4.4.	Conclusión: Definición del Modelo TO-BE en BPM.	61
5.	Indicadores de desempeño	80
5.1	Alcance	81
5.2	Tiempo	81
5.3	Costo	82
5.4	Interpretación de indicadores de rendimiento.	82
6	Implementación de Product lifecycle Management Systems(PLMS).....	84
6.1	ARAS Innovator PLMS	84
6.2	Proceso para el desarrollo de fabricación de máquinas en PLMS ARAS.....	88
6.1	Configuración de usuarios en el sistema.....	95
6.3	Definición de accesos.....	97
6.4	Configuración del TOC.....	100
6.5	Proceso de fabricación de máquinas con fundamentación de PMI en PLMS	102
7	Casos de estudio.....	111
7.1	Estructura de la tesis, casos de estudio y publicaciones.....	111
8	Análisis de Resultados.....	112
8.1	Análisis de resultados de la investigación.	112
8.2	Respuesta a las preguntas de Investigacion.	118
9	Discusión	121
9.1	Discusión acerca de las preguntas de investigación:.....	121
9.2	Discusión acerca de la gestión de fabricación con fundamentación del PMI en tecnologías de PLM.	121
10	Conclusiones	123
11	Referencias	126
12	Anexos	138

12.1	Estado del arte del Product lifecycle management.....	138
12.2	Fabricación de máquinas con método AS- IS.....	138
12.3	Fabricación de máquinas con método TO- BE	138
12.4	Fabricación de máquinas con fundamentación PMI en sistemas de información PLM	138

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Criterios de mayor relevancia de un SI sostenible(Al-Timimi & Mackrell, 1996)	25
Ilustración 2. Tipos de eventos en Bizagi.	34
Ilustración 3. Tipos de actividades en Bizagi.	34
Ilustración 4. Tipos de compuertas en Bizagi.	35
Ilustración 5. arquitectura del software (tomado de ptc).....	44
Ilustración 6. Visualización del conjunto del software (tomado de PTC)	44
Ilustración 7. Arquitectura de teamcenter. tomado de (Ruiz Arenas, 2012)	45
Ilustración 8 Arquitectura de enovia. tomado de (Ruiz Arenas, 2012)	46
Ilustración 9: Diagrama de actividades del método AS-IS completo	52
Ilustración 10: Identificación de necesidades.	53
Ilustración 11: Investigación web y estudio de viabilidad.	53
Ilustración 12: Estudio y reporte de viabilidad económica del proyecto.	54
Ilustración 13: caracterización de proyectos y contextualización de requerimientos.	55
Ilustración 14: Envío a taller de manufactura	56
Ilustración 15: Pruebas en sitio, Liberación y ajustes por estabilización.	57
Ilustración 16: Interacción de los grupos de procesos(Mulcahy, 2015).	60
Ilustración 17: Prototipo de modelo para un proyecto con ciclo de vida predictivo/cascada (Mulcahy, 2015).	61
Ilustración 18: Prototipo de modelo para un proyecto con ciclo de vida adaptable/iterativo (Mulcahy, 2015).	61
Ilustración 19: Proceso To-be.	61
Ilustración 20: Inicio del proceso to-be	62
Ilustración 21: Convocatoria, pedido de solicitud, subproceso de envío y recepción de solicitudes.	63
Ilustración 22: Recepción, revisión y promoción de ideas.	64
Ilustración 23: análisis e identificación de necesidades por parte de equipo interno.	65
Ilustración 24: Subproceso para desarrollo de una nueva Máquina.	66
Ilustración 25: Entradas paralelas para el proceso de evaluación técnico, administrativo y financiero.....	67
Ilustración 26: Validación Técnica, Administrativa y financiera.....	67
Ilustración 27: Determinación del ciclo de vida del proyecto para su ejecución.....	68
Ilustración 28: Flujos diferenciados para proyecto con ciclo de vida adaptable y predictivo.....	69

Ilustración 29: subproceso para proyecto con ciclo de vida predictivo.....	70
Ilustración 30: Reducción en el nivel de complejidad de requerimientos a requisitos priorizados.	72
Ilustración 31: Estructura de Desglose de Trabajo y Plan del proyecto.....	72
Ilustración 32: proceso de diseño de máquina.....	73
Ilustración 33: Manufactura y calidad.	74
Ilustración 34: Proceso para ciclo de vida adaptable.	75
Ilustración 35: Inicio proceso para proyecto ciclo de vida adaptativo	75
Ilustración 36: Método de entregas durante ciclo de vida adaptable.	76
Ilustración 37: Descripción grafica del ciclo de las etapas dentro de cada iteración....	77
Ilustración 38: Etapa final dentro del ciclo: Revisión, liberación y retrospectiva	77
Ilustración 39: Fin del proceso de fabricación de máquinas.	78
Ilustración 40: Aras Innovator Front-end.	84
Ilustración 41: Módulos para usuario administrador.	85
Ilustración 42: Propiedades en modulo "permissions"	86
Ilustración 43: Ejemplo de workflow. Fuente: ARAS CORP.	87
Ilustración 44: Ciclo de vida asociado a las partes cargadas a ARAS PLM.....	87
Ilustración 45: Ciclo de vida asociado a proyectos en ARAS.....	87
Ilustración 46: Ingreso a aras plm.....	96
Ilustración 47: Modulo "Identity" Aras PLM	96
Ilustración 48:Detalle de configuración de usuario.	96
Ilustración 49: Permisos nuevo documento CAD.....	97
Ilustración 50: Set de items utilizados en "permissions"	99
Ilustración 51: TOC ACCESS en Aras Innovator.	100
Ilustración 52: toc access y toc view tabs en toc access ItemType.....	101
Ilustración 53: Relacion ItemTypes, Entidades a traves de TOC ACCESS.....	101
Ilustración 54: TOC's de la implementación.....	102
Ilustración 55: Ingreso a aras plm.....	103
Ilustración 56: Ingreso a modulo Project.....	103
Ilustración 57:Activacion del modulo project.	104
Ilustración 58: Datos iniciales para creación de cronograma	104
Ilustración 59: Ingreso de datos tipo fecha.	104
Ilustración 60: Diligenciamiento completo.	105
Ilustración 61: Proyecto creado sin detalles del cronograma	105
Ilustración 62: Despliegue de la pantalla de detalles.....	106
Ilustración 63:Pantalla diligenciada.	106
Ilustración 64: Detalle de etapas creadas para el proyecto.....	107
Ilustración 65: Selección del modulo de documents.....	107
Ilustración 66: Activación del modulo.....	108
Ilustración 67: Informacion obligatoria para creacion de objetos.	108

Ilustración 68:Diligenciamiento de campos nombre y fecha efectiva.....	108
Ilustración 69: Cuadros de dialogo para diligenciamiento de creador y aprobador de documentos.....	109
Ilustración 70: Pantalla completamente diligenciada para documento.....	109
Ilustración 71:Documento creado con log de información (parte izquierda).	110
Ilustración 72: Documento creado y custodiado en aras.....	110
Ilustración 73: KPI variable alcance: Evolución de entregables entre las implementaciones	114
Ilustración 74: Rendimientos de los procesos.....	115
Ilustración 75: Datos del cambio del proceso AS-IS al proceso TO-BE en terminos absolutos.....	115
Ilustración 76: Beneficio global de la implementación del PLMS.....	116

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Codificación de la documentación.	58
Tabla 2: Muestra de la utilización de nomenclatura para el modelo to-be.	59
Tabla 3: Interpretación de resultados indicador de rendimiento del alcance.	82
Tabla 4: interpretación de resultados del indicador de cronograma.	83
Tabla 5: interpretación de resultados del indicador de costo.	83
Tabla 6: Roles de proceso.	97
Tabla 7: TOC considerados para la implementación mapeados con roles de proceso.	102
Tabla 8: relación entre casos de estudio, tesis y publicaciones.	111
Tabla 9: Indicadores de rendimiento obtenidos.	112
Tabla 10: Diferencias porcentuales variable alcance.	113
Tabla 11: Diferencias porcentuales variable tiempo.	113
Tabla 12: Diferencias porcentuales variable costo.	113

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	81
Ecuación 2.....	81
Ecuación 3.....	82
Ecuación 4.....	116
Ecuación 5.....	116
Ecuación 6.....	117
Ecuación 7.....	117

1.1. Definición del problema

En un entorno de globalización que se encuentra en constante cambio, en el que cada vez las soluciones de ingeniería se deben diseñar para responder a situaciones de mayor complejidad, el desarrollo de productos y la investigación acerca de la administración del ciclo de vida de productos tiene una gran importancia (Ducellier, Yvars, & Eynard, 2014). Para hacer frente a esta situación, se impulsa el logro de los objetivos estratégicos de la organización a través de múltiples proyectos con diferentes tamaños, prioridades y necesidad de recursos, que de llevarse a cabo determinaran el éxito o el fallo de toda la organización (Lee & Miller, 2004).

Reducir la incertidumbre en la ejecución de los proyectos y determinar el estado de las organizaciones es vital para estas mismas. De esta forma, se busca evaluar la situación actual a través de medidas que puedan representar el rendimiento actual, el pasado y evaluar posibles resultados futuros a través de indicadores clave de rendimiento (KPI)(Castillo & Lorenzana, 2010). Dicho de otro modo, Los objetivos, que serán justificación de los proyectos, deben ser entonces monitoreados a través de KPI para asegurar su cumplimiento (Villa, 2015) dando criterios para precisar si se están alcanzando (Barone, Jiang, Amyot, & Mylopoulos, 2011).

Si se ven los proyectos de diseño y fabricación de máquinas, como la entrega de un producto que finalmente busca fortalecer y robustecer la infraestructura tecnológica de la organización. Estos necesitan ser gestionados, medidos, ejecutados y controlados diligentemente haciendo uso de un enfoque sistémico que mejore la gestión de proyectos, el desarrollo de productos y los procesos de ingeniería (Ebert & Man, 2008). Una vez definido el proceso es importante definir la metodología de trabajo y de ser posible la utilización de un sistema de información apalanque los resultados y las eficiencias en el mismo. La sinergia entre las metodologías, herramientas y los procesos de la empresa es la única manera de desarrollar sistemas complejos como máquinas, aviones o vehículos (Ebert, 2013)(Vezzetti, Alemanni, & Macheda, 2015).

Dicho lo anterior, dentro del área de proyectos diseño y fabricación de máquinas se han evidenciado los siguientes problemas asociados a la gestión de proyectos y la administración del ciclo de vida del producto:

- Durante la última década los fabricantes de equipos de ingeniería están tratando de mejorar su conocimiento y rendimiento en el área de gestión de proyectos con el uso efectivo de métodos de gestión. Sin embargo, los retos encontrados no son problemas aislados y por tanto un enfoque sistémico es requerido (Xu, Ming, Song, He, & Li, 2012).
- La mejora de la gestión de proyectos, desarrollo de productos y procesos de ingeniería es para muchas empresas un hito crucial para sobrevivir en un entorno que cambia rápidamente. Sin embargo, estas actividades rara vez se integran bien debido a la diversidad de las partes interesadas con el conocimiento individual sobre proyectos, productos y procesos (Ebert & Man, 2008).
- En la industria Aeroespacial y de defensa, así como las empresas de automoción son muy conscientes del hecho de que es imposible sobrevivir en la actualidad o adquirir nuevos segmentos de mercado sin una estrategia organizativa adecuada y orientada al ciclo de vida del producto (Marco Alemanni, Alessia, Tornincasa, & Vezzetti, 2008) (Violante & Vezzetti, 2014).
- Al no tener procesos claros y llevarse a cabo los proyectos se presenta falta de consistencia de las métricas de los mismos, teniendo diferentes indicadores que expresan la misma métrica, utilizan la misma información pero se calculan y se definen de forma diferente. Esto impide, por ejemplo, realizar comparaciones de rendimiento de los proyectos, iniciativas y objetivos alcanzados dentro de la misma organización (Pintzos, Matsas, & Chryssolouris, 2012).

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

1.2. Justificación de la investigación

Con el desarrollo de esta tesis se visiona una metodología que bajo los fundamentos del PMI y la estrategia PLM pueda llegar a ser implementada y brinde solución a los problemas mencionados anteriormente. Además, se busca mejorar la efectividad de los procesos propuestos con el uso de sistemas de información de modo que se suplan las necesidades mencionadas de manera formal y además se brinde respuesta a las preguntas que dieron origen a esta investigación.

A continuación, se mencionan características que permitieron formar hipótesis de solución y que además sirven de sustento a la investigación y el modo en el que se desarrolla la tesis:

- PLM es una solución empresarial que tiene como objetivo agilizar el flujo de información sobre el producto y los procesos relacionados a lo largo del ciclo de vida del producto. PLM facilita la información adecuada en el contexto adecuado en el momento adecuado (Mas et al., 2015).
- La gestión eficiente de múltiples productos que satisfagan las necesidades de múltiples disciplinas es un tema importante que PLM es capaz de abordar con el fin de apoyar la innovación de producto mediante la reducción de todos aquellos procesos que causan la redundancia de datos del producto debido a las diferentes necesidades de cada empresa (Vezzetti et al., 2015) (Bouikni, Rivest, & Desrochers, 2008).
- A pesar de que la adopción de una estrategia PLM es una elección no trivial (Bokinge & Malmqvist, 2012), es una tecnología clave para la simplificación de la entrada pronta de empresas en el mercado , en términos de planificación , organización, gestión , medición y entrega de nuevo productos o servicios en una vía más rápida, menos costosa y mucho más integrada (Ming, Yan, Lu, & Ma, 2005).
- La sinergia entre las metodologías adecuadas, herramientas y organización de la empresa es la única manera de desarrollar sistemas complejos (aeronaves , coches, ...). En un escenario de " personalización masiva " , la presencia de productos altamente complejos con varias configuraciones posibles y la necesidad de mantener un costo reducido sólo puede lograrse a través de un enfoque orientado al ciclo de vida del producto (Vezzetti et al., 2015).

- La presión en cuanto a los costos que tiene la industria de manufactura obliga a los fabricantes y proveedores a dominar de manera conjunta y coherente el desarrollo de sus productos (Ebert, 2013).
- Por último, en cuanto a la relación de procesos y tecnologías que los soporten se argumenta que las herramientas sin procesos no son nada, procesos sin herramientas no son lo suficientemente buenos (Ebert, 2013).

1.3. Visión, objetivos y preguntas de la investigación

Visión:

“En los momentos de crisis, solo la imaginación es más importante que el conocimiento” A.Einstein.

Existen diferentes problemáticas asociadas a la dirección y ejecución de proyectos a las que pueden atribuírsele al fracaso o el éxito de los mismos. Entre estas problemáticas, la gestión de la información y la gestión de proyectos establecen retos importantes que necesitan ser atendidos oportunamente para gestionar las interacciones entre todas las áreas de la organización para los cuales la comunicación entre máquinas, entre personas y entre máquinas y personas, resulta siendo vital para el logro de los objetivos si paralelamente se tiene la información correcta de manera oportuna utilizando los modelos adecuados. (Danfang, 2012)

En la visión se concibe el uso de PLM y el marco de fundamentos del PMI para solucionar las problemáticas de gestión, información y comunicación en los equipos de proyecto a fin que de manera colaborativa se realice la fabricación de máquinas. Además, se visiona el uso de sistemas de información (SI) de PLM que permita fácilmente almacenar, acceder e integrar información de desarrollo de máquinas durante todo el ciclo de vida del proyecto, en este punto la investigación indicará como información debe ser organizada, estructurada, representada y presentada para el mejor uso y re-uso por parte de equipos de proyecto.

Objetivo primario basado en la visión:

Definir un flujo de proceso de diseño estructurado para la fabricación de máquinas y equipos, que metodológicamente este apoyado por los conceptos de Project Management Institute (PMI) y que se soporte para su implementación en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM).

Objetivos específicos para el desarrollo del objetivo primario:

Para poder cumplir con el objetivo general se deben satisfacer los objetivos específicos mencionados a continuación:

1. Analizar el proceso de fabricación de máquinas de control numérico desde del diseño hasta su construcción funcional.
2. Analizar, estudiar y definir el conjunto de indicadores a lo largo del proceso de diseño y fabricación de máquinas en áreas de ingeniería.
3. Entender e implementar una herramienta de PLM, para ejecutar los procesos de seguimiento y desarrollo para la fabricación de máquinas.
4. Realizar un conjunto de validaciones en el entorno académico a través de casos de estudio con procesos reales de fabricación de máquinas.

Preguntas de investigación basado en los objetivos:

Para el objetivo 1:

Pregunta 1: ¿Qué actividades y procesos están involucradas en los proyectos de diseño y fabricación de máquinas?

Pregunta 2: ¿Qué información es necesaria para llevar a cabo las actividades y procesos involucrados en proyectos de diseño y fabricación de máquinas de control numérico, es decir que lograr, como lograrlo y por qué lograrlo?

Para el objetivo 2:

Pregunta 3: ¿Cuáles son los indicadores clave de rendimiento/*key performance indicators* (KPI por sus siglas en ingles) que deben ser utilizados en un proyecto?

Pregunta 4: ¿En la industria existen indicadores previamente estudiados, definidos, verificados y validados para el tipo específico de proyectos que se está abordando?

Para el objetivo 3:

Pregunta 5: ¿Existen en el mercado herramientas previamente desarrolladas de que permitan soportar el ciclo de vida de producto?

Pregunta 6: ¿Cómo pueden ser utilizados los conceptos comunes, el marco de fundamentación del PMI y los sistemas de información de PLM para lograr una integración que permita la gestión de un proyecto de máquinas?

Para el objetivo 4:

Pregunta 7: ¿Cuáles son los resultados de la implementación utilizando los KPI definidos para los proyectos en un entorno controlado?

Pregunta 8: ¿Cuál es el próximo paso a seguir si se quisiera mejorar el proceso y que tendencias se observan en el mercado?

2. Método de investigación

2.1. Enfoque desde la ciencia y la ingeniería

En algunas ocasiones para la ingeniería de producción puede llegar a ser compleja la aplicación de una metodología científica y seguirla sin salirse de sus lineamientos y esto puede pasar por múltiples motivos, como por ejemplo las brechas que pueden existir entre la academia y la industria manufacturera (Danfang, 2012). En consecuencia, existe una diferencia sensible entre la ingeniería y la ciencia, la primera que busca la aplicación de conocimientos para el logro de un resultado utilizando métodos desarrollados por la ciencia que puedan conllevar a la obtención de un resultado en aras de obtener un incremento en rentabilidad. Para la ciencia, la rentabilidad no tiene un rol tan integral dentro de su organismo, dado que para la misma en ocasiones es importante abrir el espectro desde la teoría y que dependiendo de las limitantes tecnológicas que se tengan será viable para su aplicación.

Una forma clara de percibir la diferencia entre estos dos conceptos es expuesto por Theodore von Karman (Sohlenius, 2000), *“The scientist explores what is, the engineer creates what has never been”*.

Sin embargo, esto último no debe ser una barrera para la investigación en ingeniería, y debe ser entendido correctamente para utilizar la ciencia desde el punto de vista del ingeniero. Esta investigación en cuanto a construcción de máquinas debe desplegar componentes que se aborden desde la ciencia para llegar a la ingeniería generando valor con innovación. De acuerdo a sohlenius este proceso constituye el paradigma de la ciencia y la ingeniería, que inspirado por Theodore von Karma considera que el siguiente proceso debe ser utilizado para fortalecer la relación entre la ingeniería y la ciencia: la ingeniería científica analiza que es (requerimientos), imagina como debería ser (diseña), crea lo que no ha sido creado (construye) y analiza los resultados de su creación (Sohlenius, 2000).

2.2. Metodología de la investigación

El conjunto de datos, estadísticas y la información se obtiene a través de la investigación académica y las experiencias empresariales con las que se ha tenido interacción durante el desarrollo de la maestría. Durante el cronograma de trabajo se ha enriquecido la investigación con la realización de entrevistas y reuniones con expertos, realización de pilotos para aplicación de diferentes metodologías de

proyectos, con diferentes equipos de trabajo y proveedores en distintas partes del territorio nacional e internacional, paralelismo entre etapas y despliegues de manera conjunta en torno a la participación diaria de proyectos de tecnología.

En estas reuniones y entrevistas los puntos de foco a ser atendidos giraron alrededor de:

- La información necesaria para la administración del Proyecto y su integralidad, además de las herramientas utilizadas para administrar las etapas y medición de acuerdos de servicios.
- Alineación de objetivos, alcance y expectativas de los equipos on-site (Colombia) y off-shore (India, China, Singapur), además de la trazabilidad de la información.
- Despliegue de metodologías híbridas para el mejoramiento de la calidad del producto y de módulos críticos para la operación.
- Incorporación de cambios que impactan de manera transversal a los programas de proyecto con todas sus interdependencias.
- Paralelismo en las actividades de desarrollo y pruebas del producto de manera incremental para mejora de la calidad.

La información directamente relacionada con los temas de investigación, metodologías y en general, documentos de referencia que se mencionan en este texto han sido la recopilación de artículos de investigación, estándares de calidad, guías de fundamentación de administración de proyectos, documentos de usuario de aplicativos PLM, tesis de posgrado y especificaciones para el diseño y construcción de máquinas en las cuales se mencionan además condiciones de ergonomía y seguridad industrial. Esta información ha sido recolectada de manera progresiva a fin de tener cobertura sobre la mayor parte de los puntos clave por esta investigación.

Con lo anterior y luego de una revisión del estado y la calidad de la documentación contra lo implementado en la industria, se puede entender e identificar el estado del arte, los problemas generales y las oportunidades o necesidades. De este insumo, se erige el objetivo general, las preguntas y los objetivos específicos de la investigación. Consecuentemente para resolver estos ítems son desarrollados: un modelo metodológico general, un modelo de planificación, diseño y construcción seguido de pilotos para desplegar gestión de proyectos de máquinas con la interacción herramientas y sistemas de información de PLM. Al final, estos modelos serán documentados en diferentes casos de estudio, junto con los cuales serán evaluados por expertos del ámbito académico los cuales han tenido interacción continua con el área de estudio y cumplen con los criterios de selección enfocados en:

- Tienen tareas de los grupos de procesos descritos por el PMI para la dirección de proyectos haciendo parte de su trabajo diario.

- Participación en proyectos de desarrollos de máquinas o en automatización para plantas productivas.
- Participación en proyectos de implementación de software o sistemas de información de PLM en ámbitos académicos e industriales.

2.3 Datos, información y Conocimiento.

Para capturar la información, estandarizar entregables y lograr que en las organizaciones se genere conocimiento se deben considerar diferentes modelos para la administración de la información. Dicho en otras palabras, hay diferentes formas de representar la información para diferentes necesidades (Danfang, 2012). Dentro de los diferentes ecosistemas industriales se producen interacciones continuas entre datos arrojados por procesos productivos e información generada a partir de los datos, sin embargo, esto no genera necesariamente un aprendizaje interno. El conocimiento se generará solo a través del procesamiento y análisis de la información (Nyqvist, 2008).

La administración de información “basada en el modelo”, es descrita como la administración que mantiene la información siempre en su contexto, versionable y asociable con otros elementos pertinentes de información como características y propiedades que pueden ser recuperables a través del modelo, y no necesariamente por referencia a otros documentos (Nyqvist, 2008).

Reflexionando sobre el modo de manejo de información que permita dar respuesta a las preguntas de investigación que han sido erigidas anteriormente, en esta tesis se hace uso de la administración de información basada en el modelo. Esto, dadas las particularidades del ciclo de desarrollo de productos, la trazabilidad de los sistemas de PLM y la unificación de conceptos propuesta para la administración de proyectos del PMI. Presumiendo desde el momento mismo del análisis del proyecto, que la información administrada bajo el modelo debe implementarse en la herramienta de PLM que cumpla con los cuatro criterios de mayor importancia para un SI sostenible:

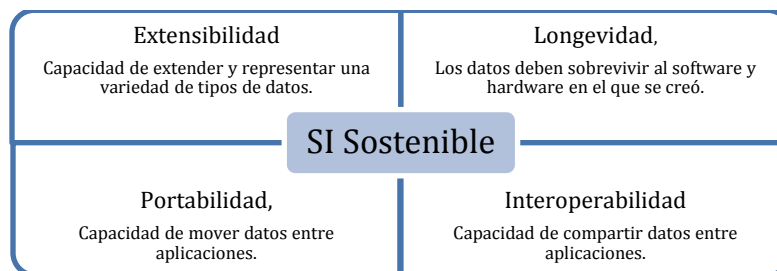


ILUSTRACIÓN 1: CRITERIOS DE MAYOR RELEVANCIA DE UN SI SOSTENIBLE (AL-TIMIMI & MACKRELL, 1996)

3. Estado del arte

3.1. Introducción

Debido a que la industria colombiana hoy en día busca ser más competitiva nacional e internacionalmente, se ha visto en la tarea de implementar prácticas de manufactura esbelta y otras herramientas que aumenten su productividad y les representen una ventaja competitiva en el mercado (Echeverri Cartagena, 2013). Dentro de las herramientas actuales que sirven como soporte para el proceso de diseño y fabricación de máquinas como lo son el conocimiento de expertos, la metodología de ingeniería inversa entre otras. Es por eso que se investigó sobre las implementaciones de PLM en el sector industrial, libros especializados y bases de datos esperando que algunos autores hubieran realizado algún aporte al conocimiento sobre la información específica requerida, pero de la exploración no se obtuvo ningún resultado. No se encontró resultado alguno con la implementación de la metodología PLM para el diseño y fabricación de máquinas, solo se encontraron diferentes libros a cerca de la implementación del PLM y algunos artículos relacionados con los resultados obtenidos en diferentes sectores industriales tras haber implementado las herramientas PLM.

Dentro de los proyectos más destacados y afines a la investigación se encontraron proyectos sobre el marco de gestión de la información del ciclo de vida del producto para las pymes (Soto-Acosta, Placer-Maruri, & Perez-Gonzalez, 2016), la implementación de PLM en la industria aeroespacial en Estados Unidos y la Unión Europea (Mas et al., 2015), y a cerca de la investigación en auditoria de principios y reglas para la implementación de un sistema PDM/ PLM (S.-H. Li, Chen, Yen, & Lin, 2013).

Se realizó además investigación en bibliotecas nacionales, Los resultados más relevantes de la búsqueda en cuanto a búsqueda en bibliotecas locales fueron las siguientes tesis de la Universidad EAFIT:

- “Metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLM)” (Echeverri Cartagena, 2013).
- “Methodology for PLM implementations” (Ruiz Arenas, 2012).

No se encontró experiencias o procesos documentados para la gestión transversal de proyectos de manufactura de máquinas o equipos de fabricación haciendo uso de sistemas de información de PLM; solo se encontraron libros sobre diseño de máquinas a nivel general, incluyendo cálculos de ingeniería, resistencia de materiales,

simulación y cálculos respecto al diseño y fabricación. Sin embargo, en estos no se profundiza en el proceso para realizar la gestión de este tipo de proyectos apalancando la administración de información y gestión documental a través de sistemas de información.

3.2. Administración de proyectos

Con el ritmo acelerado de la globalización, la urbanización y las mejoras técnicas, los proyectos hoy en día resultan ser más amplios y complicados, sobre todo después de entrar en el siglo 21, el boom de los mega-proyectos con un gran número de proyectos grandes y complejos, lo cual es evidente en las áreas de la aviación y espacio aéreo, aeropuertos, construcción, transporte, etc (Ma, Le, He, & Zhang, 2013).

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

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

3.2.1. ¿Qué es?

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

Ahora bien, una administración de proyectos sistemática consiste en métodos, herramientas y módulos. Se puede ver como la aplicación secuencial de procesos estructurados para el propósito de la institucionalización de prácticas estandarizadas. Utilizando un enfoque bien estructurado y bien implementado, las capacidades se pueden almacenar y transferir con el tiempo, el espacio y el contexto. Además, la administración de proyectos puede hacer que las organizaciones sean menos vulnerables a la pérdida de conocimiento tácito almacenado en las memorias individuales (Ibert, 2004).

3.2.2. Ciclo de vida del proyecto

No existe ningún principio universal para la gestión de proyectos. Los expertos abogan por soluciones específicas de acuerdo con el tipo de proyectos en cuanto a la estructura de la organización, la secuencia temporal de las fases del proyecto y las herramientas utilizadas se refiere. Sin embargo, manifiestan una orientación que es, visto globalmente, el mismo para cada tipo de proyecto (Schweyer & Haurat, 1997).

Existen varios enfoques sobre el ciclo de vida del proyecto en la literatura, por ejemplo control orientado al modelo, calidad orientada al modelo, riesgo orientado al modelo, así como de algunos ciclos de vida de proyectos específicos de la empresa (Bonnal, Gourc, & Lacoste, 2002). El número de fases dentro de cada uno de estos enfoques difiere, así como los nombres utilizados para describir las fases. Debido a la naturaleza compleja y diversidad del proyecto, industrias o empresas, incluso dentro de un mismo sector de la industria, no puede llegar a un acuerdo acerca de las fases del ciclo de vida de un proyecto (Kerzner, 2013).

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

Los proyectos varían en tamaño y complejidad. Todos los proyectos pueden configurarse dentro de la siguiente estructura genérica de ciclo de vida (Project Management Institute, Inc., 2013):

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

3.2.3. Procesos de la dirección de proyectos

En una sociedad donde el aumento de la competencia, la madurez del mercado y la conservación de la naturaleza son factores clave para el éxito del negocio, muchas empresas tienen como objetivo mejorar la eficiencia de la creación de nuevos productos y servicios. Para alcanzar estos objetivos, las organizaciones han desarrollado y continúan desarrollando muchos procedimientos operativos para la descripción y la optimización de los procesos internos. La mejora de estos procesos

puede ser obtenido cuando existe una Dirección de Proyectos efectiva (Navas, Tenera, & Machado, 2015).

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

3.3. Proceso de diseño y fabricación de máquinas

Para García, en la ingeniería el diseño consiste en aplicar diversas técnicas y disciplinas científicas al objeto de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización. Así pues, el diseño de máquinas consiste en la creación de máquinas que funcionen se y confiablemente bien. También es importante partir del concepto de máquina como aparato o dispositivo, formado por elementos mecánicos, que modifican una fuerza o movimiento (García, 2008).

El objetivo final de un diseño mecánico es obtener un producto útil que satisfaga las necesidades del cliente, y además sea seguro, eficiente, confiable, económico y de manufactura practica (Mott, 2006).

Un proyecto de diseño mecánico y fabricación lo constituyen una serie de fases retroalimentadas entre sí, las cuales sufren continuas modificaciones hasta perfeccionar el proceso productivo y en definitiva el producto. Las fases se describen a continuación a grosso modo (García, 2008):

- Identificación de la necesidad: consiste en un enunciado poco concreto a cerca del problema a solucionar.
- Investigación de antecedentes: en esta fase se concretan los detalles del problema o la necesidad a resolver.
- Enunciado del objetivo: acá se rehace de manera más razonable y realista, el enunciado del problema.
- Especificaciones de la tarea: delimitar el alcance del proyecto.
- Síntesis: en esta parte del proyecto se generan alternativas posibles de diseño, si preocuparse por el costo o la calidad.
- Análisis: en esta etapa del proyecto se estudian las soluciones más viables, desde el punto de vista técnico y económico.
- Solución: determinar la solución más prometedora.

- **Diseño detallado:** quizá uno de las etapas más importantes dentro del proceso de diseño, acá se realizan planos de conjunto y despiece de todos y cada uno de los elementos no normalizados. Se justifican las dimensiones de los elementos diseñados, se fijan especificaciones y procesos de fabricación de los distintos elementos, finalmente se identifican los proveedores para su futura fabricación.
- **Prototipos y pruebas:** aquí se concreta el diseño en la fabricación de un prototipo. Se realiza un seguimiento de la fabricación y se perfecciona el diseño en caso de ser necesario.
- **Producción:** Finalmente se estudia el proceso de fabricación, los tiempos de fabricación y se elabora la documentación asociada a la fabricación como lo son las hojas de ruta, ordenes de fabricación y procesos de trabajo.

En todo este proceso de ingeniería se utilizan diferentes herramientas de diseño bidimensionales y tridimensionales, diseño gráfico asistido por ordenador, (CAD por sus siglas en inglés) las cuales permiten generar planos de fabricación generados automáticamente, vistas ortogonales e isométricas, también es posible asociar propiedades de materiales al modelo, lo que permite el cálculo de masas, CDG, inercias, cálculo de interferencias de piezas en ensambles, módulo de análisis por elementos finitos (FEA). Dentro de estos softwares se encuentran inventor, solid edge, catia, pro-engineer, solidworks, etc. A su vez, se usan diferentes CAE (ingeniería asistida por ordenador) las cuales permiten diferentes análisis estáticos: aplicación de cargas (puntuales, distribuidas...), obtención de tensiones en cualquier punto de la pieza y obtención de deformaciones. Análisis cinemático y dinámico: obtención de trayectorias, obtención de velocidades, obtención de aceleraciones, análisis de inercias y simulaciones de colisiones. Análisis de vibraciones: respuestas en frecuencia, respuesta a choques y el comportamiento frente a cargas térmicas (García, 2008).

Los materiales más utilizados en la fabricación de maquinaria son las aleaciones metálicas, principalmente las ferrosas y concretamente los aceros, esto debido principalmente al bajo costo relativo, buenas características mecánicas y facilidad en su manufactura. Para concretar estos materiales, se agrupan teniendo en cuenta las partes de las máquinas que se diseñan con ellos: chasis de maquinaria, elementos de cadencia cinemática, de baja responsabilidad, árboles y ejes, poleas y volantes, engranajes, levas y cojinetes (García, 2008).

3.4. Formalización de procesos

3.4.1. Metodología

Como es ampliamente conocido en la administración, proceso es un conjunto de actividades secuenciales o paralelas que ejecuta un productor, sobre un insumo, le

agrega valor a éste y suministra un producto o servicio para un cliente externo o interno. Ahora bien, si nos referimos a un Enfoque Sistémico, Se puede inferir que un proceso en su es un sistema y con tal su comportamiento está determinado por las mismas leyes del enfoque de sistemas; quiere decir esto que tendrá elementos de entrada, tendrá actividades de transformación cuyo resultado es un producto y debe tener retroalimentación que permita determinar si el proceso está encaminado o está logrando su propósito (Agudelo Tobón & Escobar Bolívar, 2010):

- Identificación del proceso: Un buen proceso se reconoce si tiene claramente definidas y establecidas las siguientes características: Objetivo, responsable, alcance, insumos, productos, recursos, duración y capacidad.
- Clasificación de los procesos: Los procesos se pueden clasificar dependiendo del impacto, el alcance o el aporte que le hacen a la organización. Dependiendo de alcance se pueden clasificar en cuatro niveles: Macroprocesos, Procesos, Actividades y Tareas. Cada nivel se comporta como un proceso y cada nivel es controlado por un solo responsable (dueño del proceso). A menos nivel de actividades o tareas, es posible que el dueño sea la misma persona que ejecuta todo lo referente al proceso.
- Documentación de los procesos: La documentación es importante porque conserva el conocimiento de la organización y asegura que no se cambie o se pierda. Es importante conocer todos los hechos pasados buenos o malos y apoyarse en ellos para la toma de decisiones, es entonces allí donde radica la importancia de documentar lo que se hace. Documentar es definir ampliamente las responsabilidades, el lugar, el momento y la forma como debe ejecutarse cualquier actividad, pero en un sentido más amplio. Cualquier sistema implementado en la organización debe documentarse, particularmente cuando requiere que esas actividades se repitan de la mejor manera.
- Caracterización de procesos: Documento que describe esquemáticamente la secuencia de actividades que se deben seguir por las personas de las áreas involucradas en el desarrollo de un proceso. Las caracterizaciones incluyen diagramas de flujo, de acuerdo con el tipo establecido por la organización y remiten a los formatos, instructivos y registros.

3.4.2. Key performance indicators (KPI)

Las organizaciones establecen los proyectos como la vía para alcanzar los objetivos

planteados desde la estrategia de la organización. Sin embargo, la organización no podría determinar con certeza el progreso del despliegue de sus estrategias si los proyectos no son monitoreados y el logro de objetivos medido (Selmeci, Orosz, Györök, & Orosz, 2012).

Para garantizar la medición acertada de este tipo de proyectos y sus despliegues se sugiere la utilización de los *key performance indicators* (KPI) o indicadores clave de rendimiento. Los KPI son utilizados por un sin número de empresas dentro de amplios sectores de la economía para medir la calidad de productos y servicios entregados ayudando a determinar al final el éxito o el fracaso de un proyecto (Barone et al., 2011).

Entre los beneficios que ofrece el uso de estos indicadores están: los criterios de medición del progreso de los esfuerzos hacia el logro de objetivos, y las métricas del margen que tiene el proyecto entre los objetivos planeados y lo realmente logrado (Selmeci et al., 2012). Además, en el caso en el que se tenga la planta de manufactura digitalizada, desde el sistema de información PLM, se podría dimensionar el impacto que tendría la implantación de la máquina para la planta de producción desde etapas tempranas de diseño dejando espacio solo para el mejoramiento de un modo sistémico (Danfang, 2012).

3.4.3. Business Process Management (BPM)

Business Process Management (BPM) ha ganado importancia en las últimas décadas y muchas organizaciones hoy en día centran su atención en la identificación y documentación de los procesos de negocio, la definición de indicadores clave de rendimiento (KPI) para medir y monitorear el desempeño del proceso, y la aplicación de medios para la mejora continua de procesos y de innovación (Brocke, Zelt, & Schmiedel, 2016). BPM es un enfoque de gestión estructurado que utiliza métodos, políticas, medidas, prácticas de gestión y herramientas de software para coordinar todos los aspectos de la especificación, diseño, implementación, operación, medición, análisis y optimización de los procesos de negocio (Rahimi, Møller, & Hvam, 2016).

El objetivo principal de la introducción de la gestión de procesos de negocio es aumentar la eficacia y la eficiencia de todos los procesos de negocio de la organización. Desde un punto de vista operativo, la gestión de procesos se trata de tener procesos definidos, medir su rendimiento, y mejorar de forma incremental como parte de la actividad diaria. También se trata de definir los objetivos de rendimiento para los procesos de "arriba hacia abajo", basado en los resultados de la evaluación comparativa y objetivos estratégicos derivados de las iniciativas empresariales, y la realización de las actividades principales de reingeniería de procesos para cerrar las brechas de desempeño o de costos existentes. normas de proceso y un marco de

proceso común son una base fundamental para un diseño sistemático y la optimización de los resultados, los procesos y los recursos (Rohloff, 2010).

La implementación de tecnologías de gestión de procesos de negocio en las empresas está promoviendo un cambio cultural, por cuanto la información es compartida entre todos los empleados y la apropiación alrededor de la misma genera nuevo conocimiento. Este, por su parte, se ve reflejado en las mejores prácticas y en el desarrollo, ejecución y colaboración frente a actividades y procesos futuros. Las nuevas tecnologías de gestión se han introducido en las empresas no solo como una herramienta para la solución de problemas con empleados, proveedores o clientes, si no que han fomentado un ambiente de colaboración entre todos los actores, al compartir soluciones, mejoramiento continuo en tiempo real, así como mayor y mejor atención tanto a clientes internos como externos (Echeverri Cartagena, 2013).

Para el desarrollo de la tesis se seleccionó la herramienta Bizagi y el estándar de modelación de procesos BPMN 2.0, debido a su robustez y alta utilización en compañías de diferentes escalas mostrando un buen acoplamiento a grandes procesos con altos nivel de complejidad. Además, el uso de esta herramienta en conjunto con el estándar de modelación supone el uso futuro de lo propuesto en diferentes sistemas de información que soporten flujos de trabajo.

Esta última característica se encuentra en Bizagi, en conjunto con la simulación de procesos con poco nivel de programación lo que permite el mejoramiento continuo de proceso sin altas capacidades técnicas en cuanto a experticia de lenguajes de desarrollo de sistemas, administración de bases de datos, infraestructura tecnológica, entre otras(Bizagi, 2016).

Es importante tener en cuenta algunos conceptos para la modelación de procesos con el software Bizagi, si bien estos son más extensivos en el estándar de modelación BPMN los más relevantes para el proceso se muestran a continuación:

- Objetos de Flujo: Son los principales elementos gráficos que definen el comportamiento de los procesos. Dentro de los objetos de Flujo encontramos:
- Eventos: Son algo que sucede durante el curso de un proceso de negocio, afectan el flujo del proceso y usualmente tienen una causa y un resultado. Dentro de los anteriores ejemplos utilizamos inicio, fin y temporizador, estos elementos son eventos y a su vez se encuentran clasificados en 3 tipos:

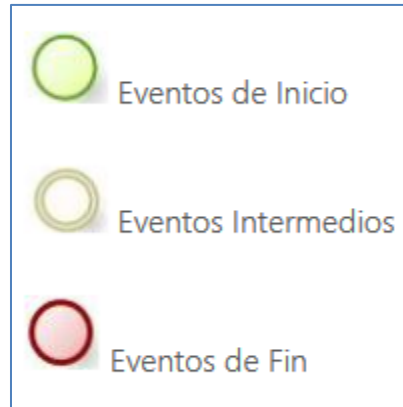


ILUSTRACIÓN 2. TIPOS DE EVENTOS EN BIZAGI.

Dentro de BPMN existen muchas formas de iniciar o finalizar un proceso e igualmente existen muchas cosas que pueden llegar a suceder durante el transcurso del proceso (Bizagi, 2016; Freund-Ruecker-Hitpass & Hitpass, 2013). Por lo tanto, existen diferentes tipos de eventos de inicio, eventos de fin y eventos intermedios.

- **Actividades:** Estas representan el trabajo que es ejecutado dentro de un proceso de negocio. Las actividades pueden ser compuestas o no, por lo que dentro de los ejemplos utilizamos los dos tipos de actividades existentes:

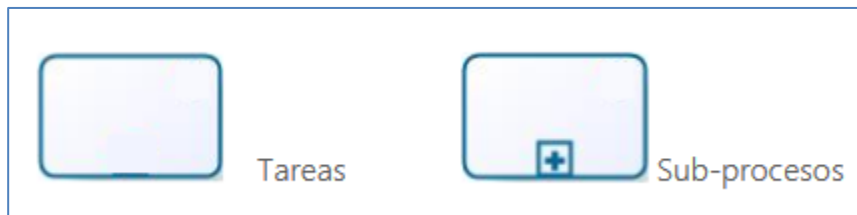


ILUSTRACIÓN 3. TIPOS DE ACTIVIDADES EN BIZAGI.

Como se pudo observar dentro de los anteriores ejemplos existen diferentes tipos de tareas: Simple, automáticas, manuales, de usuario, entre otras.

Así mismo los distintos tipos de sub-proceso: embebido, reusable y transaccional.

La inclusión de estos elementos permite diagramar con más profundidad los procesos, suministrando más información y claridad.

- **Compuertas:** Son elementos del modelado que se utilizan para controlar la divergencia y la convergencia del flujo. Existen 5 tipos de compuertas, a continuación, se presentan el uso de algunas de ellas:

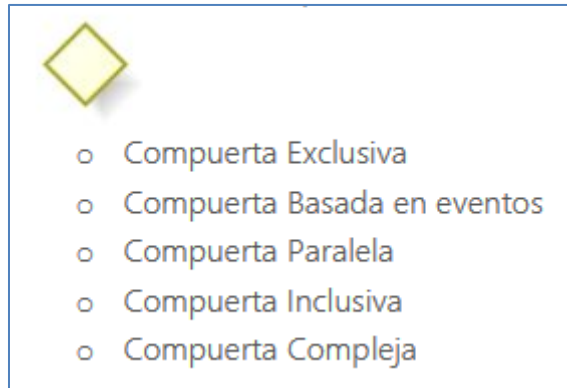


ILUSTRACIÓN 4. TIPOS DE COMPUERTAS EN BIZAGI.

- **Objetos de conexión:** Son los elementos usados para conectar dos objetos del flujo dentro de un proceso. Existen 3 tipos de objetos de conexión; Líneas de secuencia, asociaciones, líneas de mensaje.
- **Canales:** Son elementos utilizados para organizar las actividades del flujo en diferentes categorías visuales que representan áreas funcionales, roles o responsabilidades.
- **Artefactos:** Los artefactos son usados para proveer información adicional sobre el proceso. A su vez, existen tres tipos de artefactos: Objetos de datos, grupos, anotaciones.

Objetos además de los mencionados se referencian en el estándar BPMN(Freund-Ruecker-Hitpass & Hitpass, 2013). Es importante mencionar que del modelamiento del proceso dependerá que este pueda ser simulado en Bizagi y utilizable para implementaciones en motores de flujo de proceso (en inglés- BPM Engines)(Bizagi, 2016).

3.4.4. As- is

Los proyectos de rediseño de procesos de negocio por lo general comienzan con el análisis y el mapeo de una situación real dentro de una organización. Este paso se conoce como desarrollo de un AS-IS modelo de proceso de negocio (Arkilic, Reijers, & Goverde, 2012). También puede ser definido como el nivel operativo de las organizaciones en el momento actual (Castela, Zacarias, & Tribolet, 2011).

No siempre es necesario documentar el estado actual, pero puede ser extremadamente útil en dar a su proyecto de equipo una base sobre la cual construir nuevas mejoras o hacer mejoras en los procesos de negocio (Brandenburg, 2016). Algunos de los escenarios cuando se parte de la situación actual es particularmente apropiado (Brandenburg, 2016):

- Hay problemas conocidos con el estado actual, tales como ordenes en proceso que no se han logrado conseguir o clientes frustrados con el nivel de servicio de la organización.
- Los usuarios estan confundidos acerca de cual es el proceso correcto o cuales pasos seguir en que situaciones.
- La organización quiere automatizar o simplificar el proceso actual, pero el proceso actual no está bien entendido o documentado.

Muchas veces, documentar el estado actual es una etapa de análisis provisional a la mejora de la situación actual mediante la creación de un nuevo proceso (TO-BE) (Brandenburg, 2016).

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

3.4.5. To- be

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

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

3.5. Product lifecycle management (PLM)

3.5.1. ¿Qué es?

Los cambios en el escenario económico actual son inevitables. Como consecuencia, manejar toda la información durante el ciclo de vida del producto representa un desafío mayor para las pequeñas y medianas empresas (PYMES), las cuales deben competir en un mercado global (Soto-Acosta, Popa, & Palacios-Marqués, 2015).

Hoy en día, los productos se pueden diseñar, simular y validar directamente en el dominio virtual con la ayuda de diseño asistido por computador (CAD), ingeniería asistida por computador (CAE) y manufactura asistida por computador (CAM) usando la interacción 3D y la simulación. Por otra parte, las herramientas 3D también se pueden usar para la planeación de la fabricación, basado en la validación de la simulación, autoría de instrucción de trabajo, y la entrega a trabajo al taller. Este nuevo enfoque se suma a los sistemas tradicionales de gestión de datos de productos (PDM) nuevas funcionalidades para gestionar de forma explícita los productos, procesos y objetos de recursos, así como las relaciones entre ellos, de acuerdo con la configuración y eficacia. Este nuevo enfoque integrado y basado en la información se denomina gestión del ciclo de vida del producto (PLM) (Danesi, Gardan, Gardan, & Reimeringer, 2008) (Qiu, Kok, Wong, & Fuh, 2007).

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

3.5.1.1. Evolución de PLM

Hacia el final de la década de 1980 y principios de la década de 1990, dos formas de organización de diseño surgieron como alternativas distintas: diseño secuencial, que consiste en llevar a cabo las tareas de diseño, una tras otra, y la ingeniería concurrente o diseño integrado (Prasad, 1996) (Sohlenius, 1992) (Winner, Pennell, Bertrand, &

Slusarczyk, 1988). Dos de los aspectos de la Ingeniería Concurrente (IC) que lo distinguen de los enfoques convencionales para el desarrollo de productos son la integración de funciones cruzadas y la concurrencia. En la IC, se debe definir las interfaces entre las diferentes tareas. De hecho, la IC es un enfoque para el desarrollo de productos, en el que las consideraciones acerca de los procesos del ciclo de vida del producto, desde la planificación de productos, diseño, producción hasta la entrega, servicio, e incluso de final de la vida, están todos integrados. Al llevar a cabo todas estas tareas de una manera paralela, se hace posible reducir el tiempo y los costes de diseño, sino también para mejorar la calidad de los productos. Con el desarrollo de la tecnología de la información (IT), los métodos de la IC han evolucionado gradualmente hacia PLM (Segonds, Mantelet, Nelson, & Gaillard, 2015).

En la década de 2000, PLM surgió como una solución para adaptar el diseño de ingeniería a las exigencias de la globalización. De hecho, como PLM aborda todo el ciclo de vida del producto, que tiene un carácter multifuncional y ofertas estrechamente con la forma en que una empresa se ejecuta (Garetti, Terzi, Bertacci, & Brianza, 2005). Con el desarrollo de PDM (Product Data Management), PLM (Product Lifecycle Management) y flujos de trabajo asociados, las empresas de software han propuesto soluciones a los problemas cotidianos de los departamentos de diseño de ingeniería (control de versiones de documentos, etc.). La gestión del ciclo de vida del producto tiene como objetivo cubrir todas las etapas de desarrollo del producto, mediante la integración de los procesos y las personas que toman parte en el proyecto (Segonds et al., 2015). Este concepto se utiliza generalmente para los productos industriales. Durante los últimos años, PLM ha surgido como un término para describir un enfoque de negocios para la creación, gestión y uso del capital intelectual y la información relacionada con productos durante todo el ciclo de vida del producto. Por lo tanto, PLM es un enfoque en el que los procesos son tan importantes como los datos, o incluso más. El enfoque PLM puede ser vista como una tendencia hacia una plena integración de todas las herramientas de software que participan en el diseño y las actividades operacionales durante el ciclo de vida de un producto (Garetti et al., 2005) (Segonds et al., 2015). Por lo tanto, los paquetes de software PLM necesitan sistemas de gestión de datos de productos, así como las herramientas de colaboración síncrona y asíncrona, locales y remotos y si es necesario, una infraestructura digital que permite el intercambio entre programas de software.

3.5.1.2. Estado Actual de PLM

La industria aeroespacial y de defensa, así como las empresas automotrices son muy conscientes del hecho de que es imposible en la actualidad para sobrevivir o adquirir nuevos segmentos de mercado sin una estrategia organizativa adecuada orientada a la vida útil del producto. De este modo, junto con un enfoque organizacional, es

necesario adoptar las metodologías y herramientas adecuadas. Gestión del ciclo de vida del producto (PLM) es una respuesta adecuada (Vezzetti et al., 2015).

La sinergia entre las metodologías adecuadas, herramientas y organización de la empresa es la única manera de desarrollar sistemas complejos (aeronaves, coches, ...). En un escenario de "personalización masiva", la presencia de productos altamente complejos con varias configuraciones posibles y la necesidad de mantener un costo reducido sólo puede lograrse a través de un enfoque orientado al ciclo de vida del producto (Vezzetti et al., 2015).

A pesar de que la adopción de una estrategia PLM es una elección no trivial, es una tecnología clave para la simplificación de la pronta entrada de empresas en el mercado, en términos de planificación, organización, gestión, medición y entrega de nuevos productos o servicios de una manera mucho más rápido, mejor y de forma integrada, más barato (Vezzetti et al., 2015).

De acuerdo con las cifras de Cimdata, sitio de consultoría de PLM independiente, las inversiones anuales en esta tecnología están alrededor de US\$25 billones, de los cuales América Latina engloba entre el 2 por ciento y 3 por ciento del total. Por su parte, Colombia es el tercer mercado en volumen de inversiones en América del Sur, atrás de Brasil y Argentina (Metal Actual, 2014).

CIMdata, se prevé que las herramientas de CPDM (administración colaborativa de Definición de Producto) continuará siendo el segmento de más rápido crecimiento en el mercado de PLM, con una tasa de crecimiento anual compuesta de 8.6 por ciento para exceder los US\$12 billones en 2013 – liderando en crecimiento a los segmentos de Herramientas y Manufactura Digital (Metal Actual, 2014).

Así mismo, CIMdata estima que el mercado PLM total crecerá a un CAGR de 6.3 por ciento a aproximadamente US\$35 billones para 2013. Particularmente, Siemens PLM Software tiene un poco más de 2,400 clientes en América Latina, de los cuales el 75 por ciento son pequeñas y medianas empresas (PYMES) y el 25 por ciento son grandes empresas (Metal Actual, 2014).

En Colombia, las herramientas de Siemens son utilizadas por más de 250 clientes de todos los tamaños y de una gran variedad de sectores, como por ejemplo Carrocerías JGB, IMAL, compañía General de aceros (CGA), troquelados Partes y Desarrollos, Progen Producciones Generales, Empaquetaduras y empaques, Helicentro (Metal Actual, 2014).

3.5.2. PLM como estrategia

PLM nace con la necesidad de gestionar correctamente toda la información relacionada con el producto durante su ciclo de vida, integrando adecuadamente las metodologías de trabajo, tales como la ingeniería concurrente y permitiendo el trabajo colaborativo independientemente de la ubicación geográfica de los actores, contando así con la participación de todos los departamentos de la empresa, proveedores, distribuidores, entre otros que están relacionados con la información asociada con el producto (Ruiz Arenas, 2012).

Con la aparición de la red y de la economía de red, la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) se ha convertido en una nueva estrategia comercial para la fabricación global. Como paradigma de gestión, el apoyo PLM implica el modelado, la captura, la manipulación, el intercambio y el uso de la información en todos los procesos de toma de decisiones del ciclo de vida del producto, en todos los ámbitos de aplicación (Y. Li, Wan, & Xiong, 2011).

El concepto PLM enlaza diferentes etapas de desarrollo del producto *Computer Aided Engineering* (CAE), *diseño asistido por ordenador* (CAD), *Product Data Management* (PDM), *Gestión de Procesos de Fabricación* (MPM), *planificación de los recursos empresariales* (ERP), etc., en una única cadena. El objetivo es responder mejor a las preguntas de tiempo de salida al mercado, el costo y criterios de calidad. De hecho, no existe una herramienta única o método que permita la gestión de proyecto para el desarrollo de un producto. Es muy difícil debido a la gran cantidad de información que proviene de diferentes operaciones (Danesi et al., 2008).

La palabra clave de los PLM es el trabajo colaborativo dentro de los procesos de diseño de productos con el fin de integrar a todos los socios y todo el conocimiento asociado de manera eficiente. Las necesidades de diseño, que se define como un proceso de colaboración y se pueden optimizar al permitir la integración de datos, recursos y conocimiento. El diseño colaborativo actual real se reduce a menudo a través de los intercambios de datos asíncronos *Product Data Management* (PDM), aunque algunas personas prefieren hablar de "compartir" ya que el producto es una creación mutua. Las actividades de diseño de modelado implican tener en cuenta no sólo el producto, sino también la planificación del proceso y de los propios procesos (Danesi et al., 2008).

Para definir esta estrategia es importante aplicar *Business Process Management* (BPM). BPM permite la búsqueda de la "forma más eficiente de llevar a todos los recursos juntos en un proceso departamental transversal de extremo a extremo que añade valor al cliente". Implica el análisis de los procesos existentes de la compañía (también conocido como "AS-IS") con el objetivo de definir los nuevos procesos

mejorados ("TO-BE"). Estos conceptos son ampliamente utilizados en el campo "Re-ingeniería" (Ruiz Arenas, 2012).

3.5.3. PLM como sistema de información (SI)

Las herramientas PLM son desarrollados para apoyar y ayudar a la estrategia PLM. Su función principal es poner la información asociada en las manos de todos los involucrados en el proceso de diseño, lo que permite volver a utilizarlo. Además, este tipo de sistema proporciona herramientas para coordinar y apoyar los procesos de toma de decisiones, que faciliten y aceleren el proceso de diseño del producto (Ruiz Arenas, 2012).

La implantación de sistemas PDM / PLM se convierte en la inversión necesaria para ayudar a los grupos de trabajo, departamentos, divisiones o empresas para gestionar los datos de productos e ingeniería en todo el ciclo de vida del producto (S.-H. Li et al., 2013).

La mayoría de los sistemas comerciales de PLM actuales en el mercado, gestionan el desarrollo de productos a partir de un enfoque modular. Esto implica que la herramienta se puede configurar por cada empresa en función de sus necesidades y requerimientos que permiten la configuración de los módulos y bibliotecas. Esta característica permite que el sistema PLM pueda adaptarse a cualquier estrategia que se podría definir en cualquier empresa. Estos módulos se distribuyen generalmente en tres grandes áreas (Ruiz Arenas, 2012):

- Gestión de proyectos: se realiza a través de la gestión de cartera; herramientas de gestión, como informes y las prestaciones de gestión de proyectos y procesos de análisis de rendimiento.
- Control de gestión y calidad: considerar la aplicación de metodologías como el Modo de Fallo Análisis de Efectos (AMFE) para el desarrollo de productos, análisis de sustancias y la gestión de las bibliotecas asociadas con las normas y reglamentos tóxicos.
- Gestión de procesos de ingeniería: Incluye la gestión de archivos CAD y similares, por los flujos de aprobación relacionada, solicitud de propuesta (RFP), Solicitud de Cotización (RFQ), Solicitud de los procesos de información y diseño de abastecimiento y producción de proceso.

3.5.4. Aplicación de PLM

Existe documentación acerca del uso y la implementación de PLM en diferentes industrias como: el sector energético (Corallo, Lazoi, Margarito, & Pinna, 2013), manufacturero (Salonen, 2013) y aeroespacial (Mas et al., 2015).

Dr. Ulrike Warnecke, Engineering Group Manager for Systems Development & CAx Support, GM Vehicle Engineering Europe (Adam Opel), muestra como la industria automotriz está empezando a darse cuenta de que la optimización del ciclo de vida multidisciplinar es un requisito en la industria y para esto, muchos están recurriendo a técnicas y tecnologías de ingeniería basados en modelos para asegurar que el impacto cambio se entiendo completamente en todas las disciplinas funcionales a lo largo del ciclo de vida del producto (CIMdata inc, 2015b). En el sector textil V Grass, opta por la implementación de PLM para mejorar la comunicación y la colaboración dentro de sus divisiones de diseño, desarrollo y fabricación. Permitiendo la colaboración eficiente entre sus equipos internos y sus vendedores y proveedores (CIMdata inc, 2015a). Damien Rodeger, muestra como la estrategia PLM también llega al sector de altas tecnologías y dispositivos médicos, aquí el dr. Rodger se centra en el proceso de transferencia de la propiedad intelectual y la tecnología con una unidad hacia la comercialización en el entorno académico altamente competitivo, en este sector PLM tiene como objetivo globalmente proporcionar una educación independiente y un entorno de trabajo colaborativo en red, donde ideas, tendencias, experiencias y relaciones críticas de la industria germinen y echen raíces (CIMdata inc, 2016).

Para poder realizar, esto todas las empresas necesitan administrar la comunicación y la información con sus clientes a través de diferentes herramientas o estrategias como *Enterprise Resource Planning* (ERP), *Supply Chain Management* (SCM) y *Customer Relationship Management* (CRM).

- *Enterprise Resource Planning* (ERP): De acuerdo con Klaus, el concepto de ERP puede ser visto desde diferentes puntos de. En primer lugar, ERP es una mercancía, un producto en forma de programas informáticos. En segundo lugar, y fundamentalmente, puede ser visto como un objetivo de desarrollo de mapear todos los procesos y datos de la empresa en una estructura integradora incompleta. En tercer lugar, puede ser visto como el elemento clave de una infraestructura que ofrece una solución a los negocios (Klaus, Rosemann, & Gable, 2000).
- *Supply Chain Management* (SCM): En su forma más básica, se conoce como el método que una organización ofrece el producto correcto en el lugar correcto (Lowson & Burgess, 2002), en el momento adecuado, al precio correcto. A su vez se puede definir como la administración de relaciones anteriores y posteriores con los proveedores y clientes para entregar valor al cliente superior a un costo menor a la cadena de suministro en su conjunto (Christopher, 1998).
- *Customer Relationship Management* (CRM): Direccionado a lo citado por Grieser, CRM trata de establecer y mantener relaciones rentables con los clientes a largo

plazo. Se trata de la coordinación de los clientes dirigido a los procesos de negocio en marketing, ventas y servicio (Grieser & Wilde, 2010).

De acuerdo con la revisión de la literatura, ninguna documentación se pudo encontrar acerca de las implementaciones de sistemas PLM hechas en América Latina, incluyendo estadísticas sobre esto que podría permitir la determinación de su nivel de aplicación (Ruiz Arenas, 2012).

3.5.5. Conclusión

La filosofía de gestión del ciclo de vida del producto es una mejora evidente y eficaz en todas las etapas del desarrollo de productos sólo si una relación fuerte se basa entre todos los aspectos de desarrollo de productos. La elección de la arquitectura para reducir al mínimo las discrepancias en las interacciones entre la tecnología bien establecida CAD / CAE / CAM es el punto clave para demostrar sus capacidades (Nosenzo, Tornincasa, Bonisoli, & Brino, 2013).

En la actualidad, PLM es el principal facilitador de la Ingeniería Concurrente. Sin embargo, es necesario para evolucionar de Ingeniería Concurrente a Ingeniería Colaborativa (Lu, Elmaraghy, Schuh, & Wilhelm, 2007). Esto requiere que los sistemas PLM proporcionan un entorno de trabajo común para todas las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del producto. Los sistemas PLM necesitan también facilitar los flujos de información entre todos los procesos de toda la vida útil del producto (Mas et al., 2014).

Los fracasos en la implementación de PLM se deben a la forma incompatible entre el software seleccionado y la filosofía de la empresa. El marco de PLM es de proyectos multi-nivel por lo que requiere un compromiso de los empleados en todos los niveles jerárquicos de la organización. En este sentido, implica un alto grado de compromiso de la alta dirección para crear un ambiente óptimo para la aceptación y uso del PLM (Soto-Acosta et al., 2016).

3.6. Análisis de herramientas PLM/ALM

Aunque existe una amplia oferta de software PLM disponibles en el mercado, la falta de interconexión con otros sistemas de información de la empresa sigue siendo un problema común que las empresas deben tratar. Otro desafío importante tiene que ver con los recursos financieros limitados de las PYME, lo que limita su acceso a este software costoso (Vezzetti, Violante, & Marcolin, 2014).

3.6.1.1. Windchill™

Este sistema ha sido desarrollado por PTC, que es la misma compañía que hace Pro Engineering y software Creo CAD / CAM / CAE. Debido a esto, Windchill tiene una

conexión directa con estas soluciones de software, lo que significa que todos los parámetros y relaciones definidas durante el modelado 3D se importan directamente desde el software hacia el sistema PLM automáticamente. Es importante tener en cuenta que este sistema también incluye conectores para otro software de CAD. Índice de calor funciona a través de una interfaz web desarrollada en Java y su arquitectura multi nivel permite diferentes configuraciones, desde un único servidor, así como varios servidores con configuraciones complejas. Esta característica es muy importante, ya que permite que se adapta a cualquier tipo de empresa, independientemente de su tamaño (Ruiz Arenas, 2012), en la figura 1 y 2 se observa la arquitectura y visualización del conjunto del software Windchill.

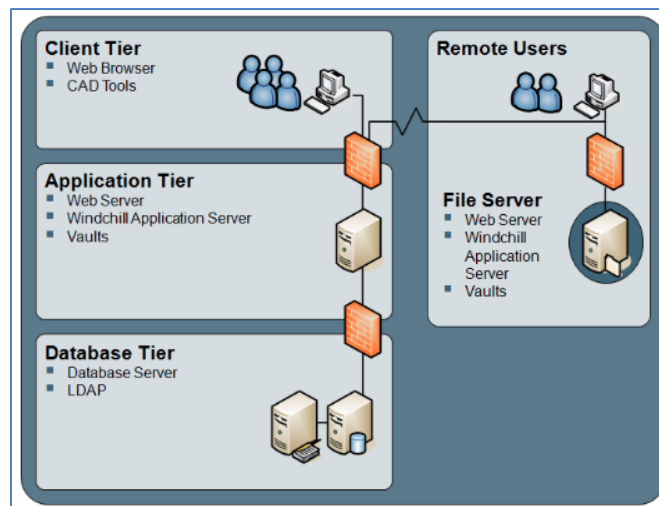


ILUSTRACIÓN 5. ARQUITECTURA DEL SOFTWARE (TOMADO DE PTC)

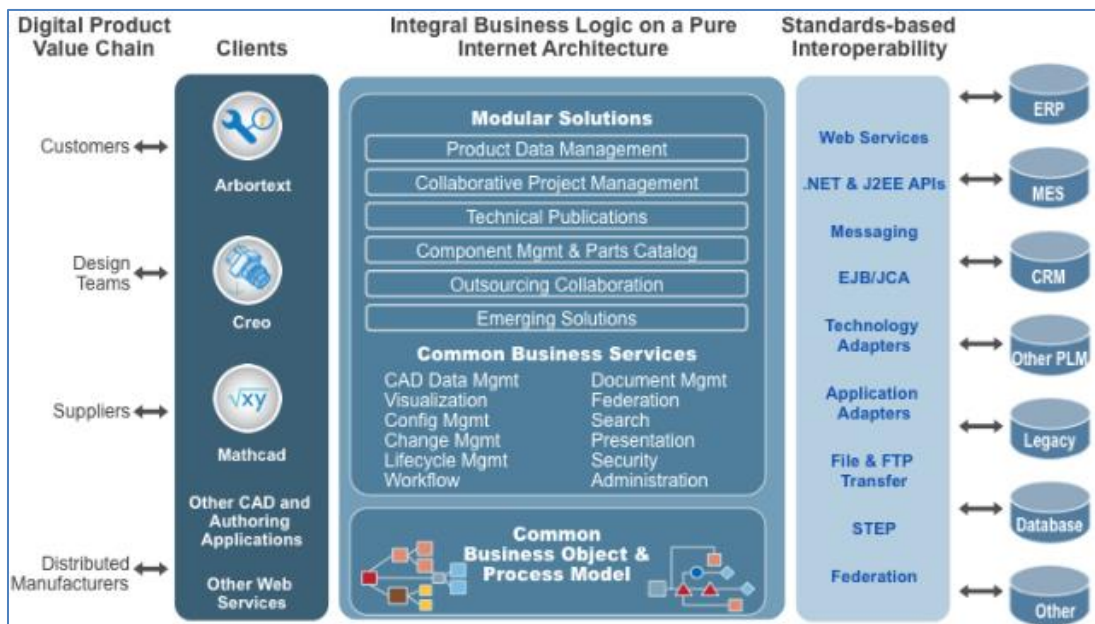


Ilustración 6. Visualización del conjunto del software (tomado de PTC)

3.6.1.2. Teamcenter™

Siemens PLM Software (de Siemens PLM) Teamcenter es una de las suites de soluciones PLM más ampliamente utilizados en el mercado. Con una herencia larga y robusta, que se despliega por las empresas en muchas industrias en todo el mundo. Es utilizado por más de 6.400 clientes y alrededor de 9.900 operaciones con 5 millones de licencias. Con los años, la suite de soluciones de Teamcenter ha sido siempre un líder del mercado y ha construido una base de usuarios muy grande en la industria (CIMdata inc, 2010).

Teamcenter tiene dos tipos de arquitectura (ver ilustración 3), dependiendo de la arquitectura seleccionada para la implementación el cliente puede ser un "*Rich Client*" o "*Thin Client*". Cada una de estas configuraciones se explica a continuación (Ruiz Arenas, 2012):

- *Rich Client*: tiene una interfaz instalada en cada equipo cliente. Permite almacenar algunos archivos y su sincronización con el servidor por lo que es más fácil de cargar archivos de gran tamaño como CAD, CAM y CAE.
- *Thin Client*: utiliza navegadores web y no requiere instalar ningún interfaz en cada equipo cliente. Debido a esto sólo archivos ligeros puede ser cargado o descargado desde el sistema.

La arquitectura también depende de la versión de Teamcenter para ser instalado, a saber: Teamcenter o Teamcenter Express. Teamcenter es la versión robusta.

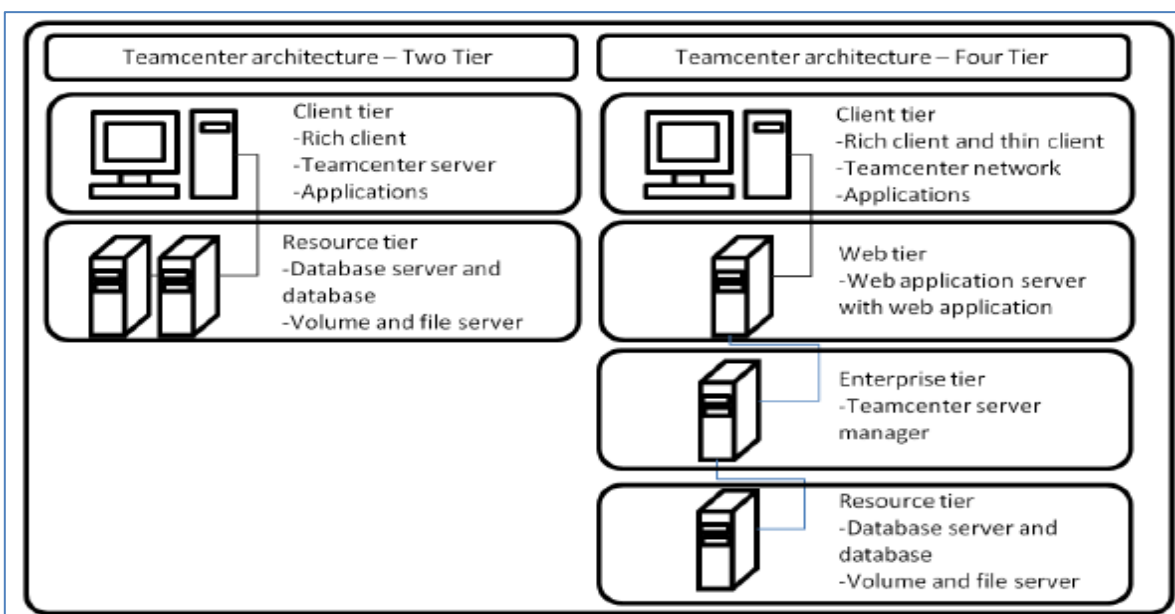


ILUSTRACIÓN 7. ARQUITECTURA DE TEAMCENTER. TOMADO DE (RUIZ ARENAS, 2012)

3.6.1.3. Enovia PLM™

De acuerdo con Ruiz Arenas ENOVIA es el sistema PLM desarrollado por Dassault Systems, que es también el creador de CATIA™ y SolidWorks™. Esta solución PLM es una de las plataformas más reconocidas y robustos disponibles en el mercado que funciona a través de una conexión HTTP, y tiene conectores para el software CAD principal y herramientas de integración para sistemas relacionados, tales como SAP.

Las principales soluciones del sistema se clasifican por "*Governance user*", que incluye funciones tales como gestión de proyectos, gestión del portafolio de productos, el cumplimiento de los materiales y el cumplimiento de la norma; "*Engineer/Designer*", que incluye las funciones de diseño, como la gestión de materiales, gestión del cambio, la ingeniería de sistemas y gestión Multi-CAX y "*Supply chain user*", que incluye la gestión de proveedores y compra de componentes. (Ruiz Arenas, 2012). Su arquitectura se basa en una arquitectura MatrixOne que permite la creación de ambientes modulares y escalables. Permite a los procesos y objetos de aplicación configurar dinámicamente, extendiéndola cuando se añaden nuevas funciones, por lo que permite un uso óptimo de las bases de datos. La arquitectura del ENOVIA hace uso de una base de datos centralizada con el almacenamiento de archivos distribuido (Ruiz Arenas, 2012), que permiten almacenar y cargar archivos de gran tamaño con el fin de reducir el tiempo de carga; un servidor Web se comunica con las estaciones de los servidores de aplicaciones que permite la conexión entre la base de datos y el cliente web (Ver ilustración 4).

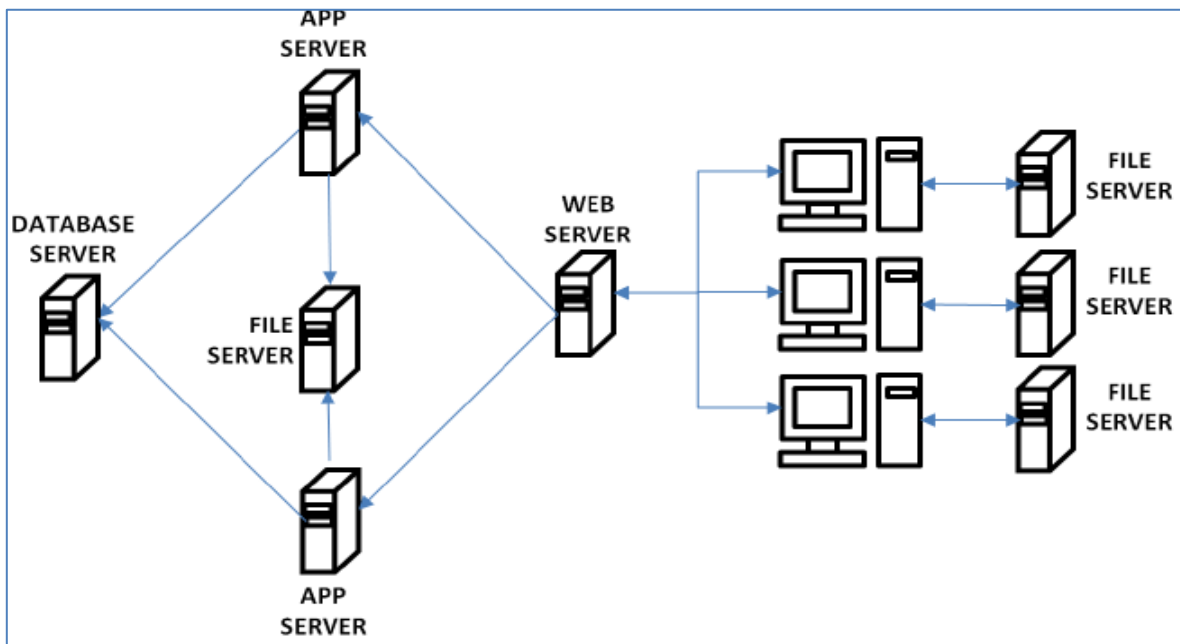


ILUSTRACIÓN 8 ARQUITECTURA DE ENOVIA. TOMADO DE (RUIZ ARENAS, 2012)

3.6.1.4 Aras Innovator™

De acuerdo con Ruiz Arenas, Aras Innovator es un sistema de código abierto que se puede acceder mediante un navegador web. Este es un sistema fácil de usar que incluye la mayoría de las funcionalidades de los sistemas PLM convencionales, tales como la gestión de documentos, gestión de proyectos, gestión de cambios, gestión de suministros, etc.

Para los propósitos educativos es muy útil debido a su facilidad de uso y porque puede ser instalado sin incurrir en costes de licencia (aunque suscripciones con servicios adicionales están también disponibles). Debido a esto, puede ser muy atractivo para las PYME en Colombia (Ruiz Arenas, 2012).

Ruiz Arenas establece una vez terminado su análisis de PLM Aras Innovator que las principales conclusiones obtenidas fueron:

- Aras Innovator tiene la mayoría de las funcionalidades que los sistemas convencionales tienen PLM. Aras Innovator es una herramienta fácil de instalar y utilizar la plataforma. La herramienta de "ayuda" es muy completa y clara para los nuevos usuarios.
- Hay un montón de foros en la web oficial de la empresa que pueden ayudar a solucionar cuestiones relacionadas con la instalación y el funcionamiento de Aras.
- Debido a Aras Innovator es un sistema de código abierto, que permite el desarrollo de nuevos módulos y funcionalidades que se pueden personalizar según las necesidades específicas de cada empresa.
- la gestión de archivos CAD no es sencillo en Aras Innovator debido a la falta de conectores libres entre la plataforma y los sistemas CAD más populares. Debido a esto, la gestión de un conjunto de CAD requiere de subir manualmente cada archivo CAD que compone el conjunto, relleno de todos los metadatos relacionados con cada archivo, la creación de las relaciones de la lista de materiales de forma manual y luego descargar y actualizar todos los archivos de la asamblea cuando uno de las piezas sufre una modificación.
- Algunos de los mensajes del sistema no se entienden fácilmente por los usuarios comunes (no Ingenieros en Informática) ya que estos están codificados en lenguajes de programación complejos.
- El director general Aras Corp tiene una estrecha relación con los usuarios Aras Innovator y con frecuencia participa en el foro de la página web oficial del sistema. Esto hace que sea más fácil para solucionar cuestiones relacionadas con la plataforma.

Teniendo en cuenta todos los beneficios y limitaciones del sistema, Aras PLM es fácil de usar e instalar y tienen un bajo costo y buen rendimiento. Sin embargo, es importante analizar la importancia de la gestión de CAD es para la empresa, ya que implicaría una inversión en conectores automáticos adicionales. En conclusión, a pesar de Aras Innovator tiene algunas limitaciones en comparación con los sistemas convencionales, su bajo costo y facilidad de uso podría hacer que sea una buena opción para las PYME locales (Ruiz Arenas, 2012).

4. Determinación del proceso de diseño y fabricación de máquinas

4.1. Proceso de fabricación no formal (Sin metodología)

La fabricación de máquinas con un método no formal es conocida en la industria local como fabricación empírica. En este proceso no se tiene una visión integral de la necesidad del cliente y se limita en la mayor parte del tiempo a una negociación de voz a voz en la que el usuario trata de transmitir la necesidad al encargado de gestionar la construcción de cara a la organización, y luego este subcontrata servicios de terceros para llevar a cabo el proyecto.

Al realizar el proyecto de este modo, desde el inicio se presentan incertidumbres en cuanto al éxito del proyecto dado que no se tiene una definición formal de las restricciones en el mismo como alcance, tiempo, costo, calidad, recursos y riesgo. Al mismo tiempo, en ningún momento se presentan informes del estado del proyecto que se puedan contrastar contra la realidad o contra datos en sistemas de información.

Normalmente un proceso no formal de diseño y fabricación de máquinas se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Se visualiza una necesidad de negocio en el área de producción de la empresa que puede estar relacionada con tiempos de producción, alta demanda de productos, alta capacidad consumida en mano de obra no calificada, riesgo alto de recurso humano para realizar la operación o el aprovechamiento de una oportunidad que permita entregar una mayor cantidad de un producto estándar no personalizado.
2. Se inicia una investigación en diferentes motores de búsqueda de internet con miras a encontrar un dispositivo que realice la función de máquina requerida teniendo un modelo de referencia que facilite el re-uso de diseño de múltiples partes o sub-ensambles. A su vez en paralelo, se inicia el proceso de contextualización y cotización con proveedores locales haciendo una explicación a alto nivel de lo que se requiere a fin de tener un límite para los presupuestos del proyecto.
3. Con los resultados del proceso de cotización y presupuesto se hace un primer estudio de alto nivel para determinar si el proyecto es viable o inviable respecto al costo. En caso de no ser viable se terminará y no se continuará, en caso de resultar viable económicamente se procederá con la planeación y realización del proyecto. En este punto del proceso se hace entrega de un reporte de viabilidad.
4. Al tener los resultados del proceso de referencia en la web y el estudio de viabilidad, se toman las siguientes decisiones:

- a. Si la máquina no existe en el mercado local y no existe referencia en mercados internacionales, se clasifica el proyecto como un diseño y construcción a la medida, el cual inicia desde el levantamiento de requerimientos y terminará en la liberación de la máquina.
 - b. Si la máquina existe en el mercado local y no existe referencia en mercados internacionales o viceversa, se entiende que existe por lo menos un modelo de referencia por tanto este proyecto se clasifica como un rediseño y construcción de máquina. Este proyecto inicia desde el diseño y trata de optimizar materiales, formas y volumen de las partes que afecten la funcionalidad de máquina a fin de obtener un mejor producto.
5. Al determinarse que el proyecto es viable independiente de si se va a realizar un proyecto iniciando desde el diseño o el re-diseño, se consideran las cotizaciones de materiales enviadas por los fabricantes locales, se negocia con cada uno y se toma una decisión del proveedor para la construcción basados únicamente en la variable precio, de ese modo el fabricante que proponga el menor precio será con el que ejecute la compra de materiales. Hasta este punto, ningún diseño ha sido realizado.
6. Después de la selección del proveedor se inicia el proceso de diseño y fabricación de máquinas, el equipo de trabajo se desplaza hasta el área de fabricación donde estaría situada la máquina y en ese momento se busca obtener la mayor cantidad de información de lo que es requerido, se toman las dimensiones máximas de la máquina, se hace acompañamiento para el levantamiento de requerimientos y se dibujan bocetos de lo entendido por parte del equipo de proyecto con el personal del área de fabricación.
7. Con los insumos del boceto, los requerimientos y las dimensiones máximas, se libera el proyecto y se da inicio a la fabricación. Durante el tiempo de la ejecución se tienen conversaciones y reuniones con el equipo de proyecto a modo de seguimiento, pero en ningún momento se realiza control y verificación de los avances, costos o tiempo efectivamente empleado para la construcción.
8. Una vez la máquina se encuentra ensamblada y terminada se realizan etapas de pruebas en sitio en el área de fabricación. En este punto el personal del área de producción es responsable de hacer unas primeras verificaciones y se da inicio a la puesta en marcha teniendo los contactos de soporte en caso de que se requiera alguna actividad de mantenimiento preventivo o correctivo por parte del equipo de proyecto.
9. Durante la etapa post-liberación en el área de fabricación, se oficializan periodos de ensayo y error en los cuales componentes deben ser reemplazados

debido a fallas en el diseño o ensamblaje, en esta etapa se cierran brechas entre lo requerido y lo entregado. Durante esta etapa dado que los materiales no fueron dimensionados en escala real puede presentarse escases de material y se consideran cambios de proveedores a fin de tener el resultado lo antes posible.

10. Una vez se concluye la etapa anterior se da inicio a la operación de la misma en el área de fabricación y se da por terminado el proyecto.

Además de este flujo de actividades se mencionan las siguientes generalidades que caracterizan el proceso:

- En el proceso empírico o no formalizado la documentación de diseño y gestión del proyecto es parcialmente omitida, al mismo tiempo en el que se omite la definición de etapas de proceso.
- Los documentos entregados durante todo el proceso y que son transversales a fabricación para todos los proyectos observados con este método son: Cotizaciones y facturas, cronograma detallando fecha inicio y fecha fin.
- En cuanto a los entregables que no son omitidos de información de diseños, planos o cartas de fabricación, esta queda archivada y no son considerados para una futura gestión o re-utilización. En principio debido a que lo diseñado tiene diferencias importantes respecto al producto entregado en cuanto a dimensiones, forma, materiales y procesos empleados.
- Dentro del proceso no se identifican claramente roles del equipo de proyecto, lo cual brinda una mayor flexibilidad, pero también se observa que durante el ciclo de vida del proyecto se presentan confusiones acerca de lo cual es el proceso correcto, qué medidas tomar en qué situaciones, quien debe tomarlas y/o con que aprobaciones.

4.2. Proceso de fabricación formalizado - Modelo AS- IS.

Mediante el modelo AS-IS aplicado al proceso de diseño y construcción de máquinas se busca tener un mejor conocimiento de la situación actual, documentar el proceso y estandarizar. Esto, a fin de identificar con una mayor precisión las mejoras que deben tenerse dentro de los procesos que están involucrados en los proyectos y además, poder determinar las acciones que permitan disminuir confusiones, retrasos, insatisfacción, redundancia en el control (inspecciones dobles), redundancia en indicadores y re-procesos, obteniendo un proceso más simple que pueda llegar a ser automatizado.

Teniendo claro el foco bajo el cual se trabajará el modelo AS-IS se documenta la situación presente dentro de la organización y se mencionan las áreas encargadas de

los procesos de manera transversal. Para lograr esta documentación de forma normalizada se hace uso del estándar BPMN 2.0 y del software de modelación de procesos (*business process modeler -BPM por sus siglas en inglés*), BIZAGI Process modeler. Se realiza esta elección dado que la combinación de ambos permitirá la utilización del motor de simulación de procesos de la herramienta, el cual ayudará al asertividad en la adopción de mejoras sin llevar a cabo una implementación por fuera del mismo.

A continuación, se el proceso AS- IS:

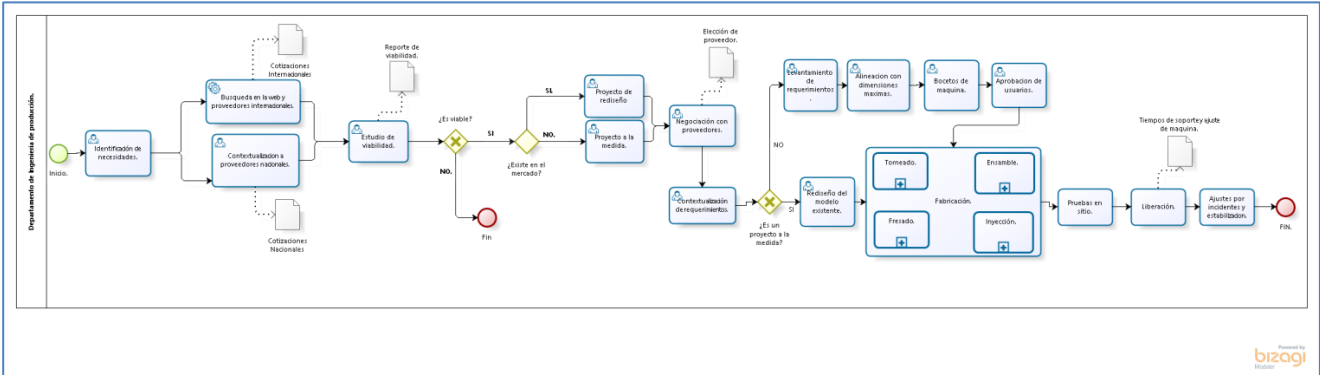


ILUSTRACIÓN 9: DIAGRAMA DE ACTIVIDADES DEL MÉTODO AS-IS COMPLETO

Modelo AS-IS

Es substancial resaltar que esta metodología no considera mejoras, esta es resultado de la documentación y estandarización del proceso empírico. Al trabajar con el modelo AS-IS se definen la siguiente secuencia de actividades dentro del proceso:

Proceso 1: Identificación de necesidades.

De acuerdo a la figura que se muestra a continuación el primer paso a llevar a cabo es la identificación de necesidades. Esta tarea consiste en realizar una caracterización de las necesidades presentes en el mercado y que puedan ser solucionadas con el desarrollo de una máquina. Para llevar a cabo esta actividad se puede hacer uso de técnicas para generación de ideas como talleres de trabajo (*workshops*), lluvia de ideas, flor de loto, etc.

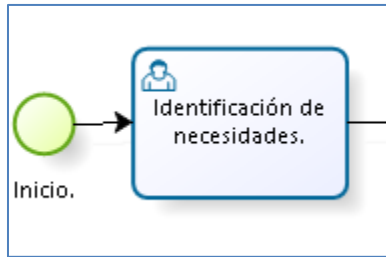


ILUSTRACIÓN 10: IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES.

Proceso 2: Búsqueda de referentes, cotizaciones y contextualización a proveedores

Una vez se han identificado las necesidades se procede con las etapas en paralelo de búsqueda de referentes, contextualización y cotización con proveedores (ver ilustración 4). El foco de esta actividad es determinar si existe un referente de mercado de la máquina o la actividad de máquina que debe ser desarrollada, obtener información del costo aproximado del proyecto y además tener un primer acercamiento a los proveedores nacionales e internacionales. De esta parte del proceso, las dos actividades con nacionales e internacionales entregarán una plantilla a modo de informe comunicando los costos aproximados de cada una de las alternativas. Estas serán el insumo para realizar el estudio de viabilidad económica del proyecto.

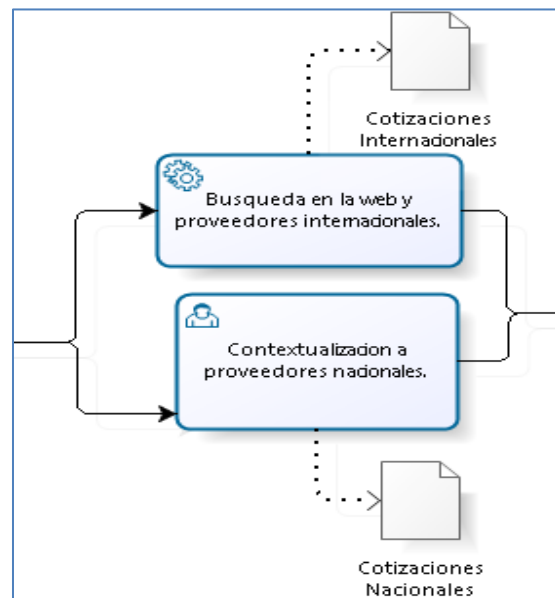


ILUSTRACIÓN 11: INVESTIGACIÓN WEB Y ESTUDIO DE VIABILIDAD.

Proceso 3: Estudio de viabilidad.

Al realizar la recepción todas las cotizaciones que representan el conjunto de estimaciones de costos, se procede a realizar el estudio de viabilidad del proyecto (Ver figura 5). Esta tarea consiste en la evaluación financiera del proyecto para la cual partiendo del presupuesto que se tenga en el área se determinara si el

proyecto es viable o inviable, dicho en otro modo dado que se tienen asignados centros de costos, lo que se trata de determinar aquí es si los proyectos están dentro del presupuesto planeado, en caso de estarlo será viable en caso contrario no se continuara con el proceso para ese proyecto en particular.

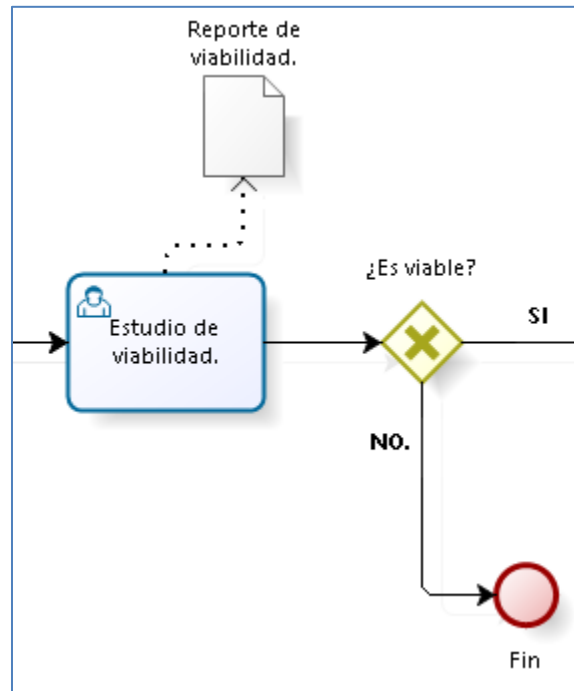


ILUSTRACIÓN 12: ESTUDIO Y REPORTE DE VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.

Proceso 4: Caracterización de proyectos y contextualización de requerimientos.

Al generar el reporte de viabilidad obteniendo un resultado positivo, se continuará con la caracterización de proyectos, una nueva negociación más al detalle para ajustar presupuestos y se realizara una nueva contextualización con las áreas de fabricación (Ver ilustración 6).

En esta etapa es vital que las investigaciones que se realizaron sobre opciones en el mercado entreguen un insumo confiable, dado que dependiendo de esto se tendrán proyectos que iniciarían desde el rediseño de un producto existente o por el contrario iniciaran desde el levantamiento de requerimientos. Otro punto a mencionar es que esta caracterización puede impactar los proyectos en cuanto a tiempo y presupuesto dado que partiendo del supuesto de reutilización, los proyectos de rediseño podrían llegar a ejecutarse de un modo más rápido y a menor costo que un proyecto de diseño a la medida (Ebert, 2013).

Una vez se tiene clara la caracterización del proyecto se procederá en el caso del proyecto de diseño a la medida a una contextualización más profunda con el usuario o los usuarios finales de la máquina para tener un mejor entendimiento de la necesidad. En el caso del proyecto de rediseño se busca obtener las modelaciones 3D de la máquina de referencia, videos de la operación y manuales de trabajo, manufactura, ensamblaje y en general, toda la documentación de soporte que exista del modelo de referencia a través de la web a fin de identificar pequeños cambios que permitan adaptar la máquina a lo requerido.

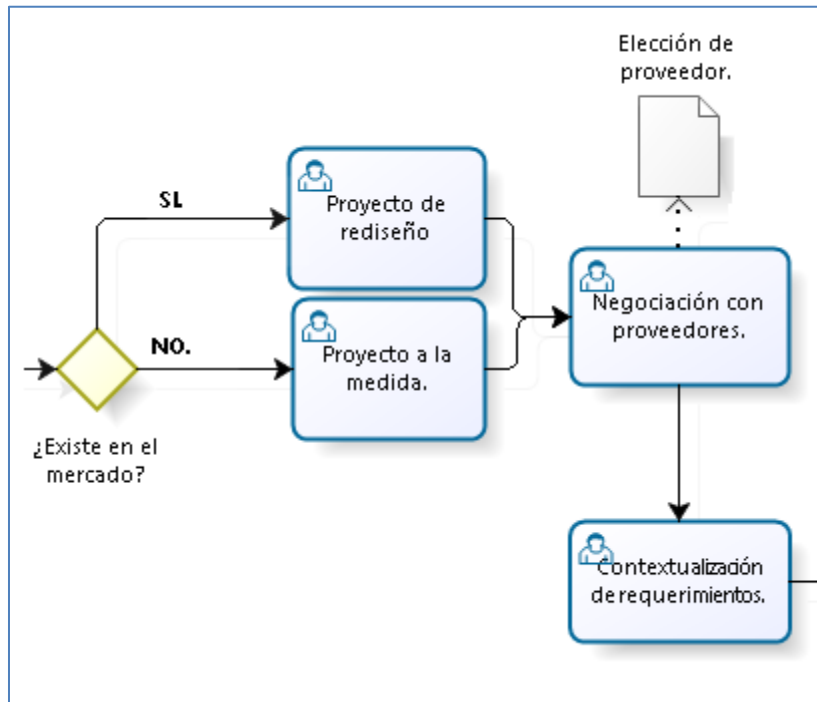


ILUSTRACIÓN 13: CARACTERIZACIÓN DE PROYECTOS Y CONTEXTUALIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS.

Proceso 5: Envío a taller de manufactura.

Luego de tener los documentos insumo desde el proyecto a la medida (levantamiento de requerimientos, alineación con dimensiones máximas, bocetos de máquina y aprobación del usuario.) y por parte del rediseño (modificaciones al modelo de referencia) se hace entrega al área de fabricación para iniciar la construcción de las partes de máquina (ver ilustración 7).

En este punto los planos son levantados sin ayuda de software especializado CAD/CAM/CAE por parte de los proyecto de diseño a la medida. Por otra parte, los proyectos de rediseño buscan aislar la(s) parte(s) que se desea modificar y se procede al ajuste con planos levantados sin el uso de software CAD/CAM/CAE, teniendo estos dos un punto en común de trabajo muy en sitio ajustando de acuerdo a las situaciones con las que se van enfrentando.

Para la fabricación el equipo de proyecto estará encargado de fabricar las piezas que se puedan construir en máquinas herramientas convencionales, mientras que para el caso de manufactura CNC deberá estar asesorado por un equipo especializado y allí solo podrá realizar la gestión para la entrega oportuna de acuerdo a las características requeridas para el producto. Al completarse todas las piezas se procederá con el ensamblaje y en caso de ajustes, se realizan en la máquina directamente sin devolver el proceso a la actualización de documentación.

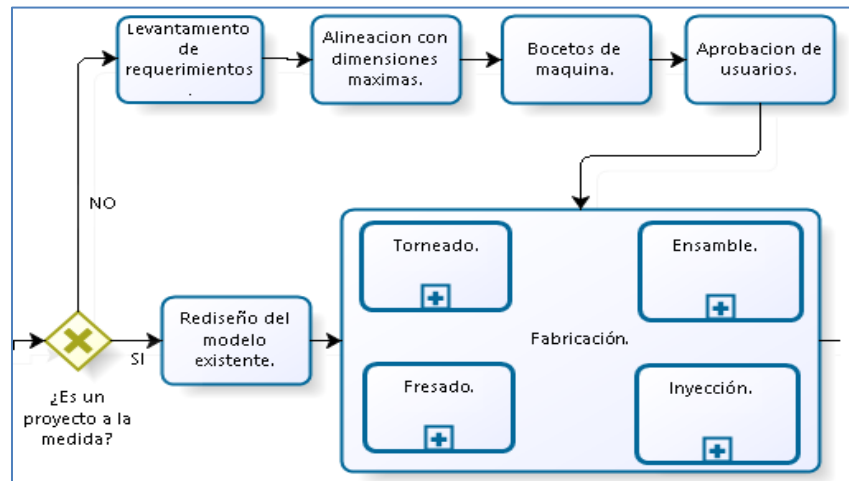


ILUSTRACIÓN 14: ENVÍO A TALLER DE MANUFACTURA

Proceso 6: Pruebas, liberación, ajustes y fin del proyecto.

Al dar por terminado el proceso de fabricación y ensamblaje de máquina, se realiza la entrega de la misma en el área que la utilizará con el fin de realizar las pruebas de la función de la máquina. Estas pruebas de recepción se pueden llevar a cabo con ayuda de pares de manufactura o ingenieros de producción que brindarán un concepto de aceptación o rechazo de la máquina.

Los errores que se tengan durante esta prueba deberán ser documentados y asignados al equipo para su corrección brindando además, fecha de compromiso para la corrección. Estos son oficializados en un documento llamado “Tiempos de soporte y ajuste de máquina”, allí se consignaran además cual será el tiempo de soporte una vez se dé la liberación de la máquina en el área de producción. Al concluir las correcciones y ajustes se dará fin al proyecto.

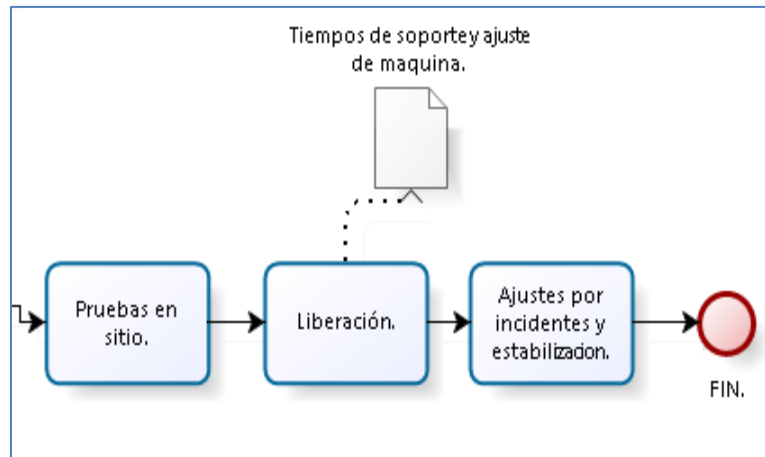


ILUSTRACIÓN 15: PRUEBAS EN SITIO, LIBERACIÓN Y AJUSTES POR ESTABILIZACIÓN.

4.3. Proceso propuesto de fabricación – Modelo TO-BE.

Premisas:

El modelo TO-BE definirá la propuesta respecto al estado futuro del proceso a seguir en un proyecto de diseño y fabricación de máquinas para la organización de estudio. Con la intención de lograr una propuesta que cree una mayor generación de valor se contemplará el mejoramiento de las tareas inmersas en el estado actual del proceso (AS-IS), iniciando con un enfoque hacia la gestión por procesos y el mejoramiento del proceso de documentación y gestión documental. Subsecuentemente, se consideran las simulaciones del BPM como el insumo para identificar tareas o subprocesos que tengan oportunidad de mejora en cuanto a: Esperas, sobre-procesos, sobre-producción, detección de defectos y gestión de defectos. Por último, se mostrarán dos enfoques del modelo TO-BE como solución a la gestión de un proyecto de diseño y fabricación de máquinas.

Documentación del proceso:

Para proveer los elementos necesarios y facilitar la estandarización previo al uso de una herramienta de PLM, es conveniente alinear el proceso de documentación del modelo TO-BE con el estándar ISO 9000 (Echeverri Cartagena, 2013). Subsecuentemente, la propuesta es hacer uso del mismo y dividir la documentación del proceso en 5 niveles básicos asignando una nomenclatura base:

1. Manual de proceso: Es una declaración donde se enuncia la justificación del proceso definiendo objetivos y propósitos de un proceso.
2. Procesos: Definen en detalle la acción a realizar (*Qué*), los actores que la ejecutan (*Quiénes*), el momento de interacción (*Cuando*) y el entorno en el que debe ejecutarse (*Lugar*), estableciendo los insumos que son necesarios para su ejecución (formatos e instructivos) en conjunto con el objetivo, alcance y lineamientos de ejecución general.
3. Instructivos de trabajo: Especifica y define de manera clara y en detalle la forma en la que se debe realizar cada actividad detallando los procedimientos que se deben llevar a cabo.
4. Formatos: Diseño predefinido que es utilizado como soporte para el desarrollo y consigna de los resultados de las actividades detalladas en los procesos o instructivos.
5. Registros: Son los formatos con la información diligenciada por los responsables de actividades de procesos o instructivos de trabajo. Estos presentan los resultados, evidencias y/o hallazgos obtenidos durante la ejecución de un proceso o instructivo.

Dado estos niveles de caracterización, de acuerdo con Mejía Gutiérrez, un documento que comience por el índice “5” indicará que se trata de un registro, el índice “4” que es un formato, el índice “3” un instructivo de trabajo y el índice “2” un procedimiento. Para una mejor ilustración, se muestra el nombramiento de documentación que será utilizado en el desarrollo de esta tesis para el proceso de documentación del modelo TO-BE:

Codificación para el Proyecto de diseño y fabricación.				
Sufijo para el proyecto	Número de la actividad en el proceso	Sufijo del documento	Consecutivo	Palabra Clave
PFM000X	XX	XX	XX	BSC

TABLA 1: CODIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN.

Ejemplo: En la tarea “Estudio de viabilidad” del proceso AS-IS se genera el documento “Reporte de viabilidad”, bajo la nomenclatura este sería nombrado como sigue:

PFM0001-03 -05-01-BSC

Sufijo para el proyecto	Número de la actividad en el proceso	Sufijo del documento	Consecutivo	Palabra clave
PFM0001	03	05	01	BSC
Proyecto de diseño y fabricación de máquinas 001	Tarea número 3 del proceso para proyectos de diseño y fabricación de máquinas.	Registro	Consecutivo, documento No.1 dentro de la tarea.	Código asociada con la tarea que facilite la indexación, máximo 6 caracteres.

TABLA 2: MUESTRA DE LA UTILIZACIÓN DE NOMENCLATURA PARA EL MODELO TO-BE.

Enfoques del modelo propuesto:

Antes de la modelación en el software de BPM se han identificado lineamientos, procesos, interacciones y diferentes ciclos de vida que mejoran la propuesta de proceso para llevar a cabo proyectos de diseño y fabricación de máquinas. De acuerdo con el Project Management Institute la dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades/tareas del proyecto a fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos del mismo. Para lograr esto, el método propuesto se alinea con la aplicación e integración de los procesos de la dirección de proyectos, agrupándolos de manera lógica en los siguientes grupos de procesos:

- Inicio,
- Planificación,
- Ejecución,
- Monitoreo y Control, y
- Cierre.

Con el objetivo de contemplar la propuesta de solución como un camino sistémico es importante considerar la integración e interacción entre las partes mencionadas (Hester & Adams, 2014). De hecho, el éxito de la implementación del método propuesto y de los proyectos bajo este, estará condicionada a que estos procesos se desarrollen de manera coordinada. Para lograr esta integración se propone el siguiente modelo de interacción:

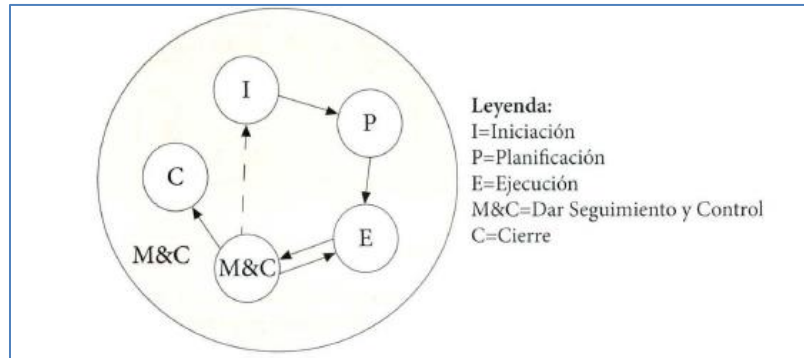


ILUSTRACIÓN 16: INTERACCIÓN DE LOS GRUPOS DE PROCESOS(MULCAHY, 2015).

Con esta interacción se pretende brindar una directriz de actuación con el objeto de acordar actividades que ayuden a gestionar el desarrollo de estos procesos de forma transversal al ciclo de vida del proyecto. Además, bajo el modelo TO-BE se propone la identificación del ciclo de vida del proyecto a fin de reconocer modelos de diferenciación de etapas y ejecución que puedan llevar a una generación de valor y entrega de las máquinas de un modo más rápido, dinámico y que conlleve una mayor satisfacción de los interesados.

Dicho lo anterior, entendiéndose que en la actualidad el sector de manufactura es altamente dinámico y que estamos en un entorno que requiere desarrollo de productos de “personalización en masa”(Segonds et al., 2015). Se propende en el modelo TO-BE porque la ejecución del proyecto se lleve a cabo a través de ciclos de vida adaptables cuando sea posible, en lugar de ciclos de vida predictivos. Esto con el fin de tener un proceso de diseño y construcción de máquinas en el cual cada iteración el producto debe estar listo para su revisión por parte del cliente. Sin embargo, esto no es una restricción y el modelo propuesto podrá ser ejecutado en cualquiera de los dos tipos de ciclo de vida proporcionando, en consecuencia, dos enfoques de solución al problema de gestión durante un proyecto de diseño y fabricación de máquinas.

Para tener cubiertas las dos soluciones se propone considerar el siguiente lineamiento, en el caso de proyectos con enfoque de ciclo de vida predictivo se avanzara entre etapas cerrando completamente la etapa inmediatamente anterior y se entregará la máquina al final del proyecto para su operación(ver ilustración 13), mientras que para los proyectos que se gestionen con un enfoque de ciclo de vida adaptable (iterativo) se realizaran entregas parciales de máquina(sub-ensambles) con el objetivo de comprobar y reconocer pequeñas mejoras graduales que aportarán valor a los interesados (ver ilustración 14).

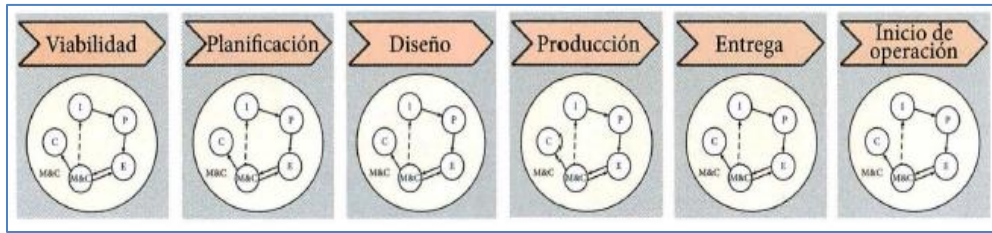


ILUSTRACIÓN 17: PROTOTIPO DE MODELO PARA UN PROYECTO CON CICLO DE VIDA PREDICTIVO/CASCADA (MULCAHY, 2015).

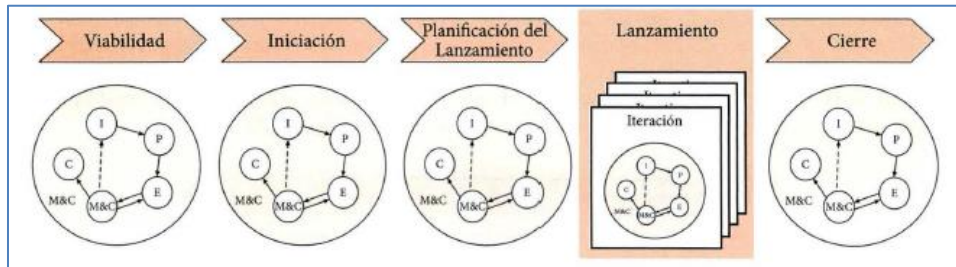


ILUSTRACIÓN 18: PROTOTIPO DE MODELO PARA UN PROYECTO CON CICLO DE VIDA ADAPTABLE/ITERATIVO (MULCAHY, 2015).

Basado en lo expuesto anteriormente y los resultados del ejercicio práctico de simulación (Ver sección 6.5.2), seguidamente, se expone el modelo bajo el estándar de modelación BPMN 2.0 en el software Bizagi Process modeler.

Cabe mencionar que, bajo el enfoque de modelación que se mostrará, las posibilidades de implementar este proceso en sistemas de información son amplias. Para acotar el rango de aplicación, en la presente implementación se propende por la utilización de business process management systems (BPMS) y product lifecycle management systems (PLMS) que contengan motores de flujos de trabajo (workflows engine) para facilitar la interacción del proceso con los usuarios.

4.4. Conclusión: Definición del Modelo TO-BE en BPM.

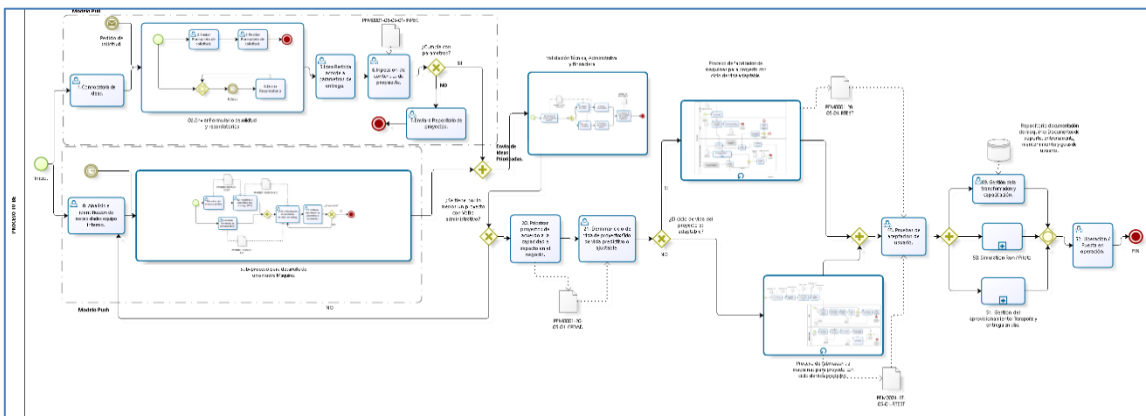


ILUSTRACIÓN 19: PROCESO TO-BE.

Inicio del proceso To-be: proyectos bajo demanda(Pull) y proyectos con lanzamientos a mercado(Push).

Para el proceso TO-BE de diseño y fabricación de máquinas se propone, con el objetivo de lograr que sea escalable a diferentes organizaciones, trabajar bajo la combinación de dos enfoques de gestión de la demanda, Teniendo los inicios o disparadores de proyectos desde iniciativas tipo push o tipo *pull*. Por otra parte, para la implementación exitosa de esta metodología se sugiere proponer en todo momento proyectos en miras a apalancar el logro de objetivos estratégicos de la organización, enfocando lo que se verá a continuación como un instrumento de integración entre los objetivos de la organización, los procesos, las personas y los sistemas de información.

Por último, para hacer la descripción de una manera más sencilla se realizará la descripción al lector como si este estuviese situado en la ejecución del primer proyecto bajo la metodología propuesta, por tanto, la notación de toda la documentación estará bajo el proyecto PFM0001.

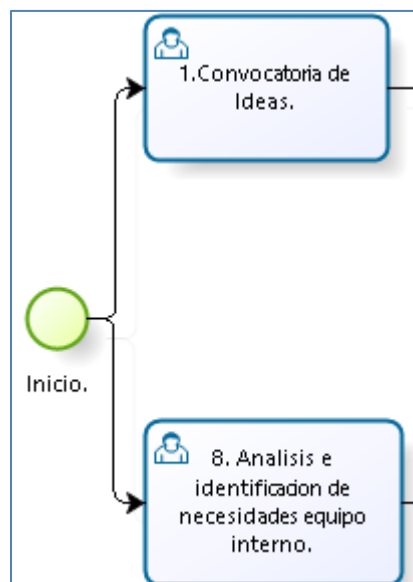


ILUSTRACIÓN 20: INICIO DEL PROCESO TO-BE

Proceso 1: proyectos con enfoque bajo pedido. (pull)

El proceso bajo pedido (pull) iniciara con la tarea de realizar una convocatoria de ideas a la comunidad en general a fin de identificar necesidades de mercado vigentes las cuales puedan ser satisfechas con maquinaria y/o automatización. Esta convocatoria deberá llevarse a cabo informado a la comunidad general fechas específicas y requisitos que serán tenidos en cuenta, es decir, la convocatoria debe ser llevada a cabo con parámetros específicos a fin de no crear extra esfuerzos a las etapas posteriores.

Es importante mencionar que esta convocatoria también puede ser una tarea programada automáticamente en un BPMS (Business process management system), el cual de manera autónoma, una vez se cumpla con parámetros de tipo fecha pueda tener disparadores que por medio de correos electrónicos alerte a la comunidad. Este tipo de disparadores exigiría una estrategia completamente web que recopile las ideas a través de formularios, que fácilmente podrán ser accesados por usuarios que se registren en el sistema de información. Para tener un mejor entendimiento de lo descrito ver la ilustración 16.

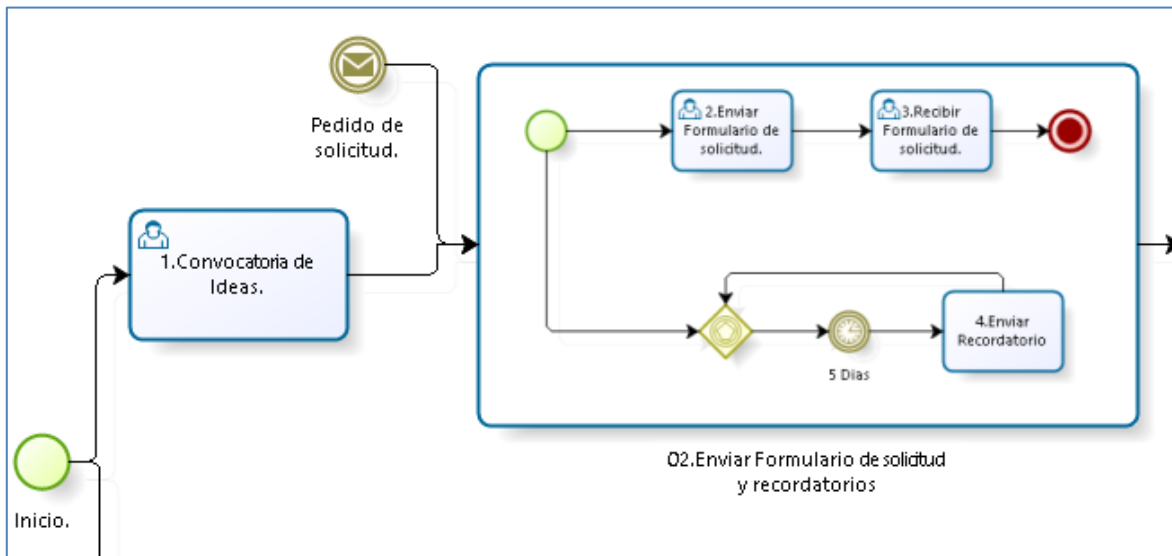


ILUSTRACIÓN 21: CONVOCATORIA, PEDIDO DE SOLICITUD, SUBPROCESO DE ENVÍO Y RECEPCIÓN DE SOLICITUDES.

Una vez se inicie la convocatoria por cualquiera de los medios anteriores (Tarea 1 o tarea programada), se daría inicio a un subproceso estándar de recepción de solicitudes. Este contendría las actividades típicas de gestión como enviar y recibir formularios, además de enviar recordatorios para alertar a la comunidad acerca del avance de la convocatoria (Tareas 2,3 y 4).

Una vez culmine la convocatoria, se hallan cumplido las fechas o los parámetros determinada para esta, de dará inicio a las labores de revisión y gestión documental de las mismas bajo la plantilla: "PFM0001-06-05-01-INPEC". En caso de que las propuestas cumplan con todos los parámetros propuestos estas serán promovidas para su priorización (Ver ilustración 17). Por el contrario, las ideas que no cumplan con los parámetros, serán enviadas a un repositorio de proyectos y serán descartadas del proceso de priorización.

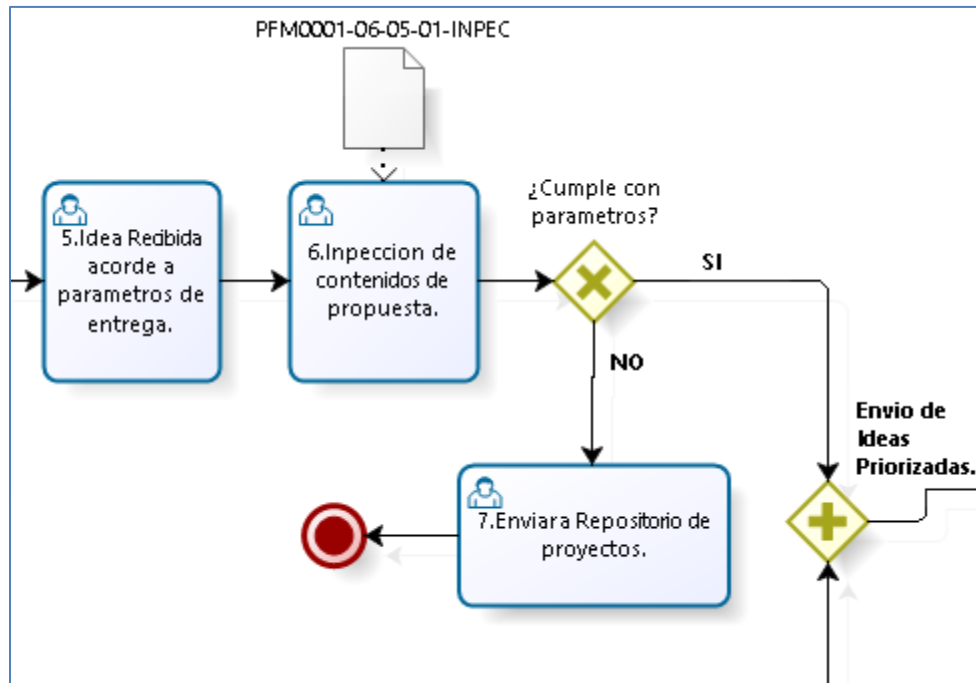


ILUSTRACIÓN 22: RECEPCIÓN, REVISIÓN Y PROMOCIÓN DE IDEAS.

Proceso 2: proyectos con enfoque de lanzamiento de productos. (push)

El proceso bajo el enfoque de lanzamiento de productos se centra en el análisis interno por parte de recursos de la organización con el objetivo de identificar necesidades que se puedan estar presentando en el mercado y que puedan ser satisfechas de manera exitosa con un proyecto de diseño y fabricación de máquinas. Este proceso podrá ser iniciado de manera aleatoria basada en una necesidad que se presente de manera flotante en el mercado o puede ser una citación programada con periodicidad fija para trabajar a modo de workshops en modo de mesas colaborativas. En este caso, esta convocatoria a los workshops también puede ser una tarea programada automáticamente en un BPMS (Business process management system) que siga el flujo dentro del subproceso siguiente. Sin embargo, es muy importante no perder el enfoque al análisis de necesidades y trabajo en equipo para esta etapa, ya que en la interdisciplinariedad del grupo dependerá en gran medida la riqueza de las ideas que resultantes del proceso. Para esto, dentro del proceso TO-BE se propone realizar un análisis de identificación de necesidades (tarea 8) y un subproceso para desarrollo de máquinas (Ver ilustración 18 y 19). Este básicamente busca brindar una orientación en el proceso de ideación e identificación de capacidades que podrían ser potenciadas con un proyecto de diseño y fabricación de máquinas (PFM).

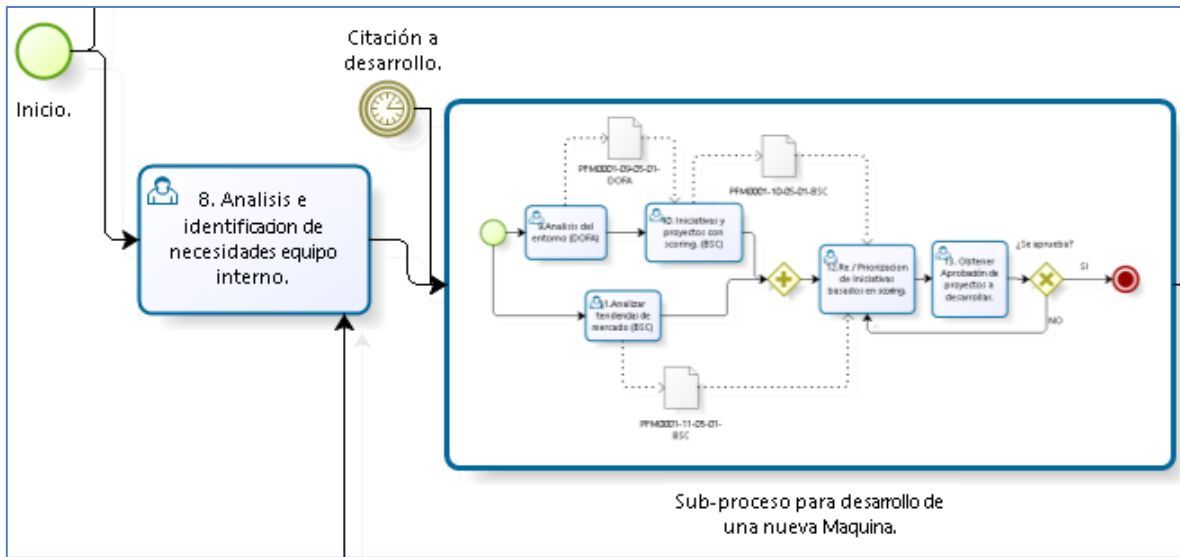


ILUSTRACIÓN 23: ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES POR PARTE DE EQUIPO INTERNO.

Dentro del subproceso para desarrollo de una nueva máquina se propone seguir el siguiente flujo de tareas:

a. Desarrollar un análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA):

Dentro del método propuesto, este análisis se desarrolla con el objetivo de determinar la situación real de la compañía con el objetivo de establecer cuáles serán los elementos e ideas que ayudarán a diferenciar las ventajas competitivas de la compañía a través de la tecnificación de la misma, respondiendo a: Cómo destacar cada fortaleza y aprovechar las oportunidades, como defender cada debilidad y como detener cada amenaza con el uso de tecnología. Toda la documentación de esta etapa será insumo para la realización de la tarea subsecuente a esta y estará registrada en el documento: “PFM0001-09-05-01-DOFA”.

b. Ideas con calificación (BSC):

El análisis descrito se traduce a un conjunto de iniciativas y proyectos los cuales ayuden a cuantificar el impacto esperado en la compañía de acuerdo a la implementación o despliegue de las ideas planteadas. Con este impacto se propone hacer un balance score card (BSC) que determine entonces la prioridad de cada uno de estas. Toda la documentación de esta etapa será insumo para la realización de la tarea subsecuente a esta y estará registrada en el documento: “PFM0001-10-05-01-BSC”.

c. Análisis de tendencias de mercado:

En paralelo a la realización del análisis DOFA y el BSC del análisis interno, se propone realizar un análisis rápido de tendencias de mercado el cual arroje además un BSC adicional recopilando las tendencias tecnológicas y productivas de las economías externas. Esto con el objetivo de no sesgar el entregable final de ideas calificadas a solo

la visión interna de la compañía omitiendo elementos de mercado que pueden ser aprovechadas para potenciar los resultados de la organización. Toda la documentación de esta etapa será insumo para la realización de la tarea subsecuente a esta y estará registrada en el documento: “PFM0001-11-05-01-BSC”.

- d. Priorización de ideas y aprobación interna: A fin de tener las iniciativas y proyectos que se ejecuten de manera objetiva, las ideas recibidas bajo los registros de las tareas 10 y 11, se someten internamente a revisión por parte de todos los equipos con el objetivo de tener la aprobación a conformidad de los resultados proyectados. En caso de aprobarse un conjunto de ideas estas serán promovidas a la siguiente etapa del proceso, en caso contrario se deberá revisar la priorización realizada, el scoring y realizar nuevamente la tarea de presentación para obtener aprobación de por lo menos uno de las ideas.

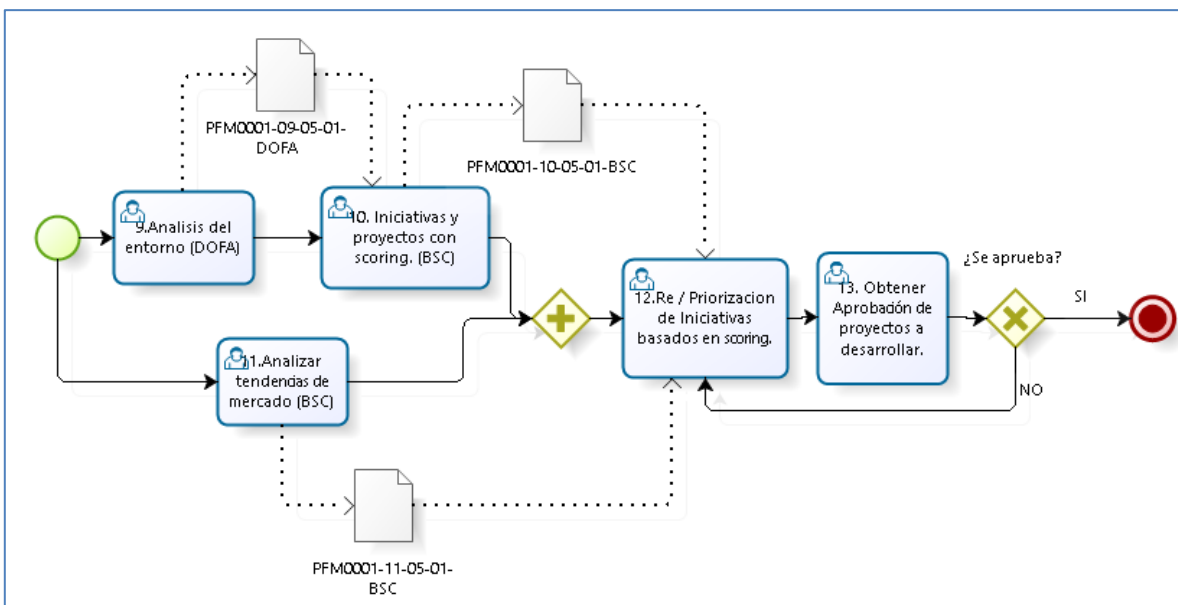


ILUSTRACIÓN 24: SUBPROCESO PARA DESARROLLO DE UNA NUEVA MÁQUINA.

En caso de que la organización utilice una estrategia mixta entre modelos tipo push-pull, esta podrá hacer aprovechamiento de la recopilación de estas ideas para evaluación por parte de las áreas administrativas. El proceso mixto podrá aportar diferentes perspectivas que podrán inclusive dar un mejor acercamiento a los usuarios (Dingsøyr, Nerur, Balijepally, & Moe, 2012). En este caso el conjunto de procesos y tareas bajo ambos enfoques desembocaran en el subproceso administrativo (Ver ilustración 20). En caso contrario solo un flujo de recepción de ideas entraría a esta evaluación.

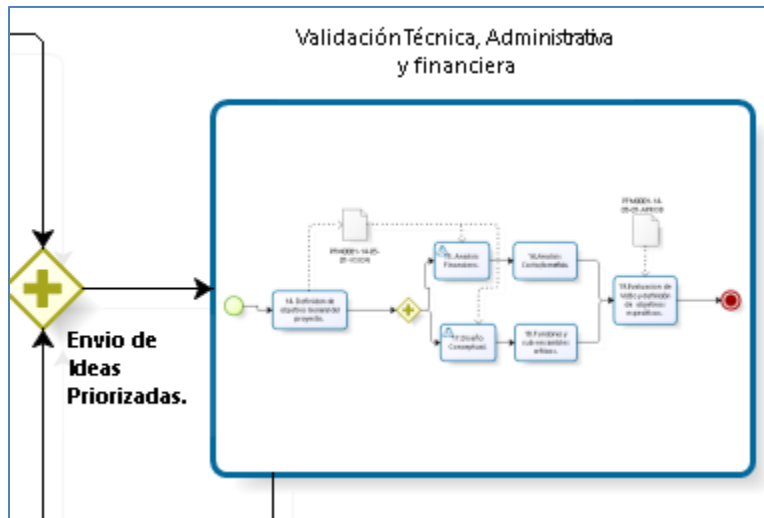


ILUSTRACIÓN 25: ENTRADAS PARALELAS PARA EL PROCESO DE EVALUACIÓN TÉCNICO, ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO.

Proceso 3: Validación Técnica, Administrativa y financiera.

Una vez se van recibiendo las ideas se da lugar al proceso de evaluación formal de cada una de estas. El objetivo de esta etapa es trabajar con las personas que originaron las ideas a fin de determinar parámetros claros en cuanto al alcance de cada uno de los proyectos que saldría a consecuencia de las ideas que han sido aceptadas. En esta fase se definen entonces: el alcance del proyecto, el presupuesto, el diseño conceptual de la máquina y sus funciones y sub-ensambles críticos (Tareas 15,16,17 y 18).

El insumo de esta actividad será el registro de un documento de visión del proyecto, en el cual se compartirá la visión compartida minimizando el riesgo de vacíos entre la requerido y lo finalmente planteado. El documento: “PFM0001-14-05-01-VISION” será el registro de esta actividad. Una vez se tienen estas tareas completadas se realiza una revisión final en conjunto de todos los interesados para someter el proyecto a una evaluación de los objetivos específicos asegurando así la trazabilidad y comunicación transversal de los ítems más críticos y generales del proyecto (Ver Ilustración 21).

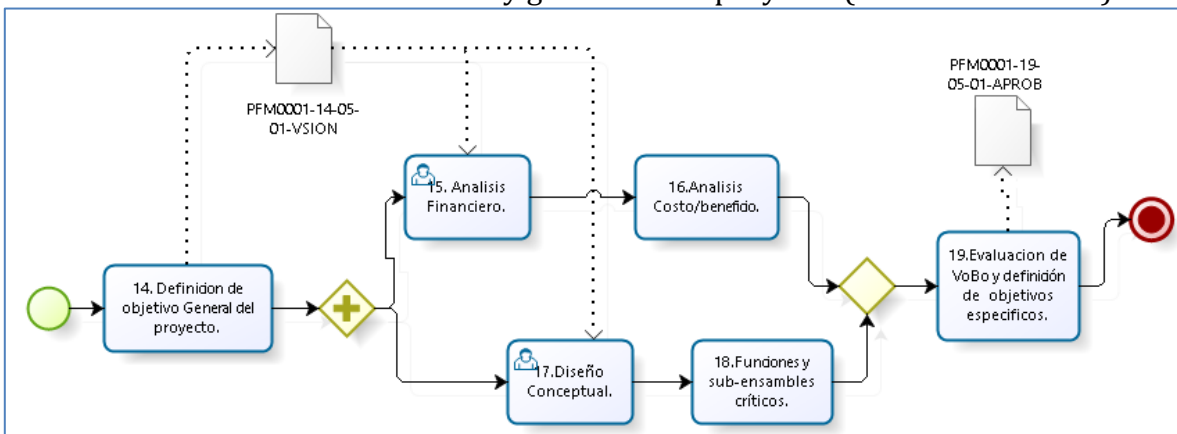


ILUSTRACIÓN 26: VALIDACIÓN TÉCNICA, ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA.

El acta de evaluación de los objetivos del proyecto, será homologa a el acta de constitución del proyecto mencionada por el PMI, en esta se registrará el alcance, presupuesto, estimaciones de tiempo y cronograma inicial, además de los nombres de los interesados. Esta se registrará como terminación de la tarea 19: “Evaluación de VoBo y definición de objetivos específicos” bajo el identificador “PFM0001-19-05-01-APROB”. Al completar este documento y tener las aprobaciones, se dará por finalizado el subproceso.

Proceso 4: Asignación de capacidad y determinación del ciclo de vida del proyecto.

Una vez se asignan las aprobaciones de alto nivel, se procede a gestionar la capacidad de los recursos que son necesarios para la ejecución del proyecto (Diseñadores, fabricantes, laboratorios para pruebas de componentes, etc.). En el caso trivial, que no se tenga ningún proyecto que cumpla con los requerimientos para ser aprobado se propone volver a la tarea 8, Para iniciar nuevamente el ciclo de evaluación de necesidades de la compañía. En caso contrario, si se tiene por lo menos un proyecto que cumpla con la alineación estratégica de la compañía y cuente con el visto bueno para continuar, se gestionan las capacidades anteriormente mencionadas y se realiza una categorización que resulta critica para las fases siguientes del desarrollo del proyecto.

Como resultado de la tarea 20, deben quedar claramente definidas las fechas en las que el proyecto contará con los recursos además de llegar al detalle de determinar si requiere apoyos externos como outsourcing o insourcing para los desarrollos de ensambles mecánicos o electrónicos. El documento: “PFM0001-20-05-01-CPDAD” será el registro de esta actividad.

En la tarea determinar ciclo de vida del producto básicamente se tomará una decisión (Ver ilustración 22), realizar la ejecución del proyecto bajo un enfoque de entregas en iteraciones hasta completar el proyecto (ciclo de vida iterativo) o realizar una única entrega al final con todos los resultados del proyecto (ciclo de vida predictivo) tal como se ilustra en la sección 4.3.2 Enfoques del modelo propuesto.

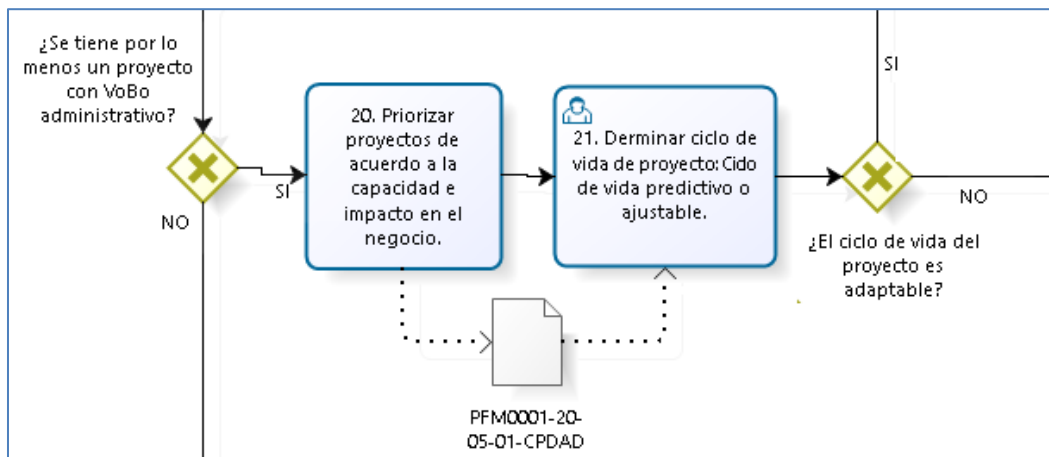


ILUSTRACIÓN 27: DETERMINACIÓN DEL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO PARA SU EJECUCIÓN.

Al tomar la decisión se entrará entonces en dos subprocesos diferentes con entregables intermedios, roles y perfiles diferenciados a fin de ajustarse de la manera mas adecuada posible a lo que requiere la organización (ver figura 23).

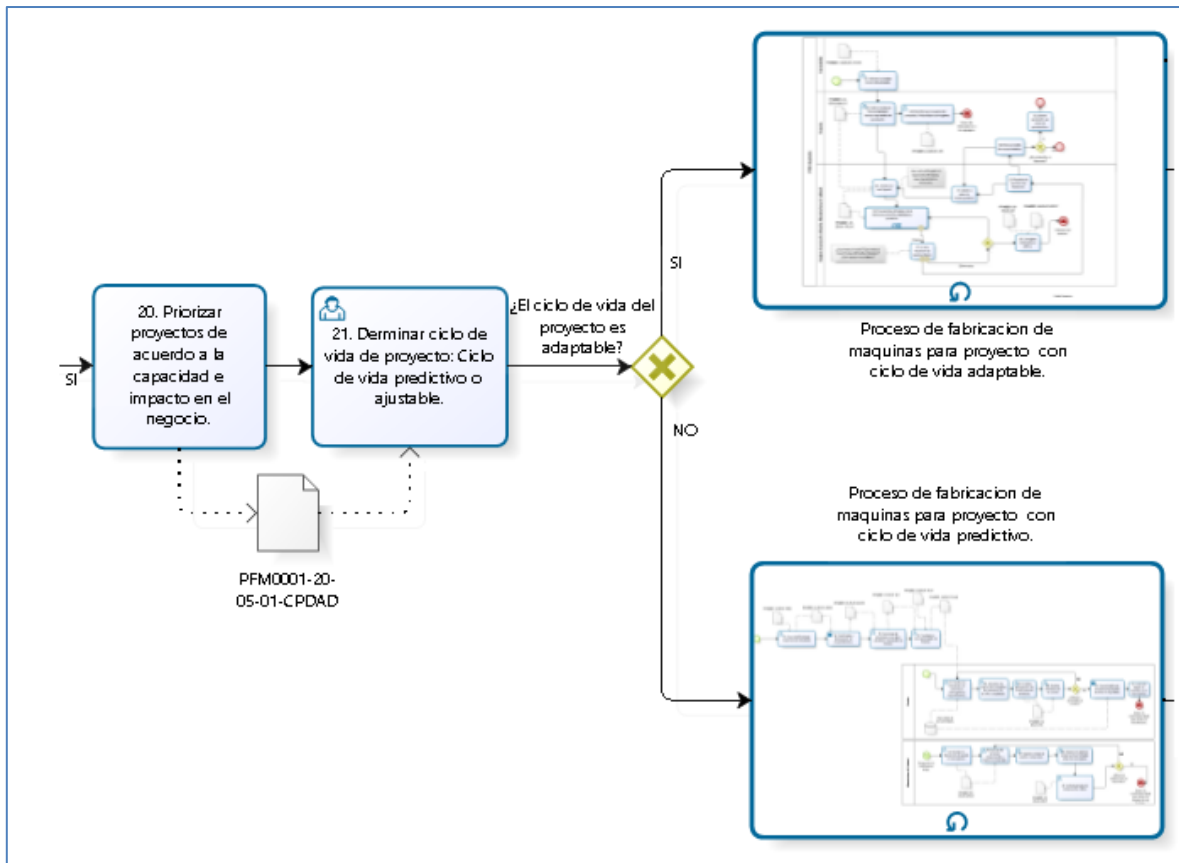


ILUSTRACIÓN 28: FLUJOS DIFERENCIADOS PARA PROYECTO CON CICLO DE VIDA ADAPTABLE Y PREDICTIVO.

Proceso 5: subproceso para proyecto con ciclo de vida predictivo.

En general, al ingresar al subproceso para un proyecto con ciclo de vida predictivo se inician todas las tareas de un proyecto con ejecución tipo cascada. Para este tipo de proyectos la premisa es no iniciar una etapa sin terminar completamente la inmediatamente anterior.(Project Management Institute, Inc., 2013). Dado esta situación se propone trabajar este método desde 3 diferentes frentes: proceso de gestión de usuario, Proceso de diseño y, por último, un proceso consolidado de fabricación y pruebas (ver ilustración 24).

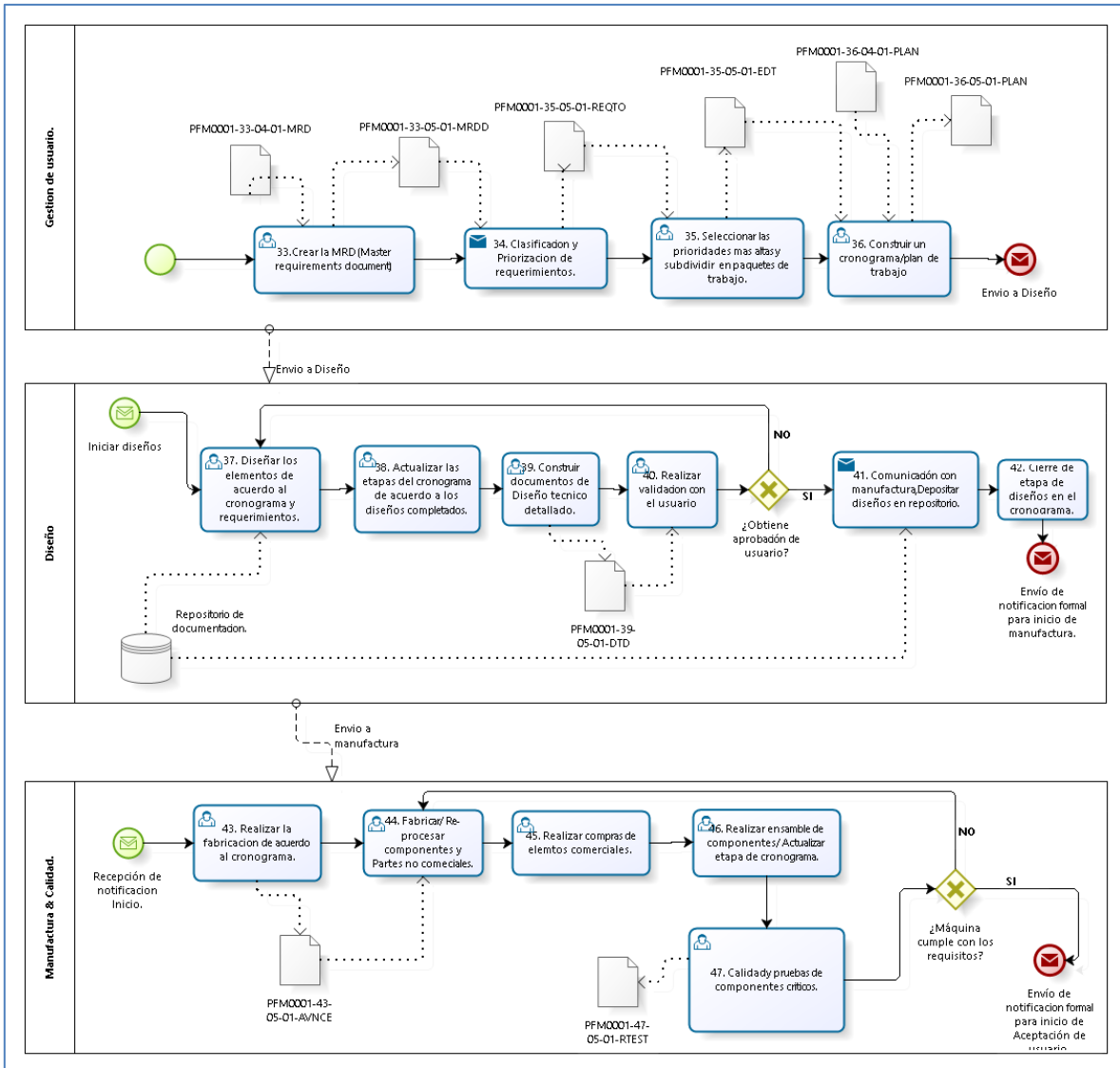


ILUSTRACIÓN 29: SUBPROCESO PARA PROYECTO CON CICLO DE VIDA PREDICTIVO.

Para este subproceso el área de gestión del usuario se encargará y estará enfocado en reescribir, en conjunto con el usuario final de la máquina, el detalle de los requerimientos críticos de calidad con los que debe cumplir el producto desarrollado. Teniendo en cuenta que estos tendrán una transformación desde el lenguaje formal a un lenguaje técnico que será interpretado por diseñadores y fabricantes de manera posterior.

El área de diseño tiene como objetivo transformar los insumos que se le han entregado en los diferentes documentos insumo (diseño conceptual, requerimientos y plan detallado) en modelaciones 3D que cumplan con validaciones de simulación desde el diseño para ser traducidos finalmente en planos de ensamble y manufactura. Todos estos esfuerzos son consolidados en el documento de diseño técnico detallado (DTD) que se consigna bajo la nomenclatura: "PFM0001-39-05-01-DTD".

Por último, el fabricante tomara todos estos insumos del DTD para planear la ejecución de la manufactura y ensambles, identificando piezas comerciales y no comerciales en conjunto con ensambles críticos que deban ser probados nuevamente por carga, fatiga, temperatura, etc. Una vez los ensambles están completos y la máquina terminada, se prueba en conjunto realizando las validaciones finales comunicando los resultados en el documento de resultado de pruebas consignado como: "PFM0001-47-05-01-RTEST", en caso de que la máquina no cumpla con los requerimientos las partes deberán ser reprocesadas o rediseñadas según se requiera. En caso contrario, si la máquina cumple con todos los requerimientos consignados en el documento: "PFM0001-35-05-01-REQTO" se planeará la ejecución de pruebas con el usuario para confirmar la conformidad de lo entregado.

Un punto importante a mencionar es que el proceso ha sido modelado como si se trataran de 3 áreas diferentes con la intención de mostrar que este proceso puede ser ejecutado por áreas diferentes en una misma organización o por actores internos y externos a la misma, es decir, el presente modelo puede ser utilizado como modelo operativo para la tercerización de servicios de manufactura, diseño y hasta la gestión del usuario.

Ahora, entrando en el detalle de la descripción del proceso, este estará enmarcado por un inicio que tendrá un primer entregable llamado "MRD-Master requirement document" o documento maestro de requerimientos. Este buscará consignar todo el conjunto de requisitos detallados que pertenecen al proyecto. A fin de lograr tener requisitos con la información mínima que requiera cada organización se sugiere la creación de plantillas que ayuden a tener una interpretación clara de las necesidades que se quieren satisfacer con proyecto. El no realizar esta tarea con diligencia podrá desencadenar tareas y proyectos que no satisfacen las necesidades del negocio una vez que son completados (Project Management Institute, Inc., 2013). Comportamientos comunes de falla en proyectos entre organizaciones con causa común en la falta del detalle de los requerimientos ocasiona que los directores de proyectos creen el proyecto que ellos desean y no el que se les solicita, o pueden completar el proyecto según los requisitos técnicos y olvidarse de las razones (explícitas o no) por las que se inició el proyecto (Project Management Institute, Inc., 2013). Para evitar estos inconvenientes y tener un proceso de mayor agregación de valor en cada tarea, se realiza la MRD y la priorización de los requisitos derivados de ella para tener una visual completa del proyecto en conjunto con sus prioridades, los cuales serán consignados en los documentos: PFM0001-33-05-01-MRDD y PFM0001-34-05-01-REQTO, reduciendo el nivel de complejidad de requerimientos a requisitos priorizados (Ver Ilustración 25).

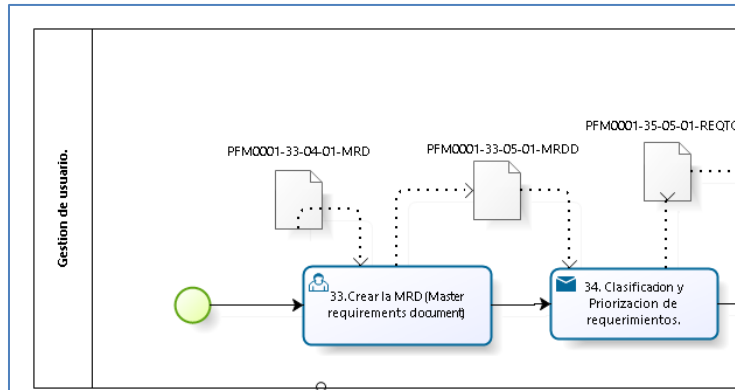


ILUSTRACIÓN 30: REDUCCIÓN EN EL NIVEL DE COMPLEJIDAD DE REQUERIMIENTOS A REQUISITOS PRIORIZADOS.

Una vez se tiene el registro de los requisitos detallados y priorizados, la siguiente etapa del proceso consiste en crear paquetes de trabajo que conlleven la estimación del esfuerzo necesario para cumplir con aquellos requisitos a ser satisfechos. Esta tarea tiene entonces como entregable la Estructura de desglose del trabajo-EDT del proyecto con miras a establecer de manera posterior el plan general del proyecto designando etapas, fechas y la estimación de los recursos necesarios. La EDT y el plan del proyecto estarán consolidados bajo los documentos: PFM0001-35-05-01-EDT y PFM0001-36-05-01-PLAN respectivamente VER Ilustración 26)

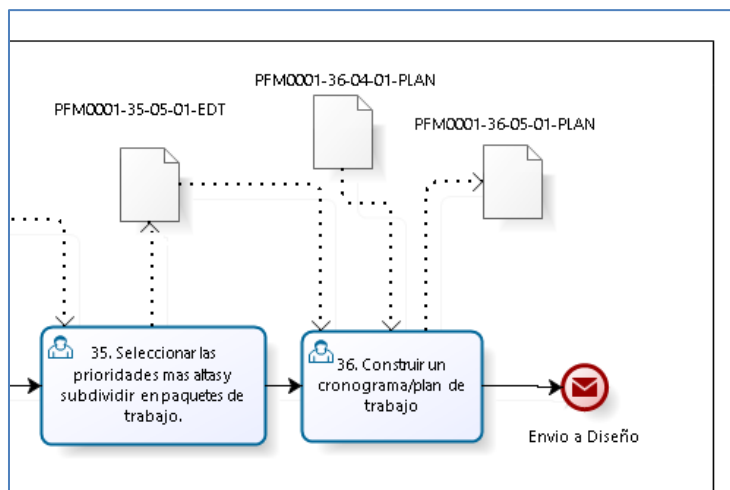


ILUSTRACIÓN 31: ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO Y PLAN DEL PROYECTO.

Una vez el plan del proyecto se encuentra constituido, este es considerado como la línea base para las actividades del proyecto, este rige alcance del proyecto, el cronograma de todas las actividades, dependencias y finalmente, el costo estimado. Es decir, respecto a este se deberán considerar las mediciones de cualquier tipo de desviación relacionados al avance esperado del proyecto. Al culminar este proceso de gestión de la demanda, se enviarán los planes a las áreas de diseño para iniciar sus tareas, para las cuales estos deberán priorizar el diseño de los elementos de máquina y sub-ensambles de acuerdo al cronograma entregado. Esto se refiere a crear los

modelos 3D iniciales, actualizar las etapas del cronograma a fin de tener la información del avance del proyecto actualizado y por ultimo construir los documentos de diseño técnico detallados que serán presentados y evaluados en la tarea 40-Validacion con usuario. Una vez se presentan los diseños consignados en la documentación PFM0001-39-05-01-DTD, Estos serán aprobados por el usuario que estará acompañado por alguien de manufactura, o serán reprocesados para hacer los ajustes que permitan asegurar la concordancia con la expectativa del usuario y la viabilidad de fabricación, para permitir así el avance de todos los paquetes de diseño al área de manufactura.

Es importante mencionar que para la realización del diseño técnico detallado se sugiere la realización de las siguientes tareas: Tomar la información de los repositorios del proyectos, consultar diseños conceptuales, construir diseños 3D, seleccionar posibles materiales, simular esfuerzos para componentes críticos, definir materiales y por último obtener los modelos 3D finales en conjunto con planos de piezas, ensamble y manufactura para su reserva en los repositorios, de los cuales manufactura haría el consumo de información (Ver ilustración 27).

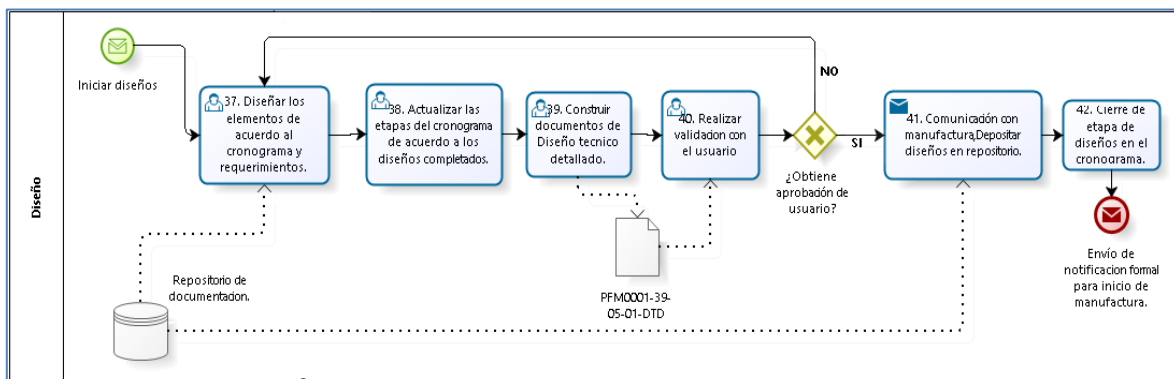


ILUSTRACIÓN 32: PROCESO DE DISEÑO DE MÁQUINA.

Por último, el área de manufactura recibirá los diseños que han sido aprobados por el usuario para su fabricación. Esta contará además con la propuesta de materiales a utilizar y todos los detalles dimensionales necesarios para llevar a cabo la manufactura. En este punto el personal de manufactura que acompañó al usuario en el proceso de aprobación debe tomar el direccionamiento de la fabricación de los componentes dentro de su área, realizando una asignación de los trabajos que permita el cumplimiento del cronograma y permita terminar los ensambles con las partes comerciales y no comerciales a fin de asegurar el modelo sistémico de las funciones críticas de la máquina. Por otra parte, este proceso no puede estar aislado, por tanto al momento de la fabricación se asegurará la comunicación del avance del proyecto a través de informes periódicos consignados en los documentos: PFM0001-43-05-01-AVNCE.

Una vez se completen todos los ensambles y la máquina se encuentre en estado funcional, se iniciará una etapa de pruebas con el producto terminado y se evaluará nuevamente la concordancia entre lo finalmente construido y lo requerido, garantizando que se ha llevado la trazabilidad de los flujos de información desde el inicio del proceso hasta la etapa final de manufactura y pruebas sin que ningún requerimiento de la MRD fuese ignorado. De llevarse a cabo el proceso anteriormente descrito de manera exitosa, se procederá a la citación del usuario para pruebas de aceptación del producto, siendo esta última comunicación la etapa que cierra la etapa de manufactura (Ver ilustración 28).

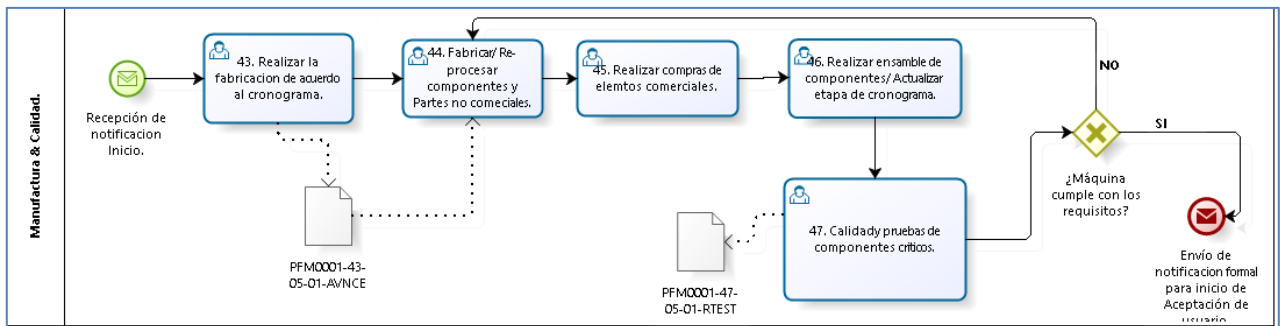


ILUSTRACIÓN 33: MANUFACTURA Y CALIDAD.

Proceso 6: subproceso para proyecto con ciclo de vida adaptable.

En el caso en el que se identifique que el ciclo de vida del proyecto puede ser cambiante en periodos cortos de tiempo o requiera entregarse rápidamente por iteraciones, se dará lugar a la ejecución del proceso bajo un perfil de proyecto con ciclo de vida adaptable. Este proceso, como se explicó anteriormente, dividirá el alcance en pequeñas entregas que se realizarán con una periodicidad definida de acuerdo a cada proyecto, a fin de entregar sub-ensambles funcionales en términos de meses o semanas, completando (conforme pasa el tiempo) el cumplimiento de los requerimientos expresados en la visión del proyecto. El proceso de ciclo de vida adaptable iniciará entonces con la validación y/o actualización de la visión (ver ilustración 29).

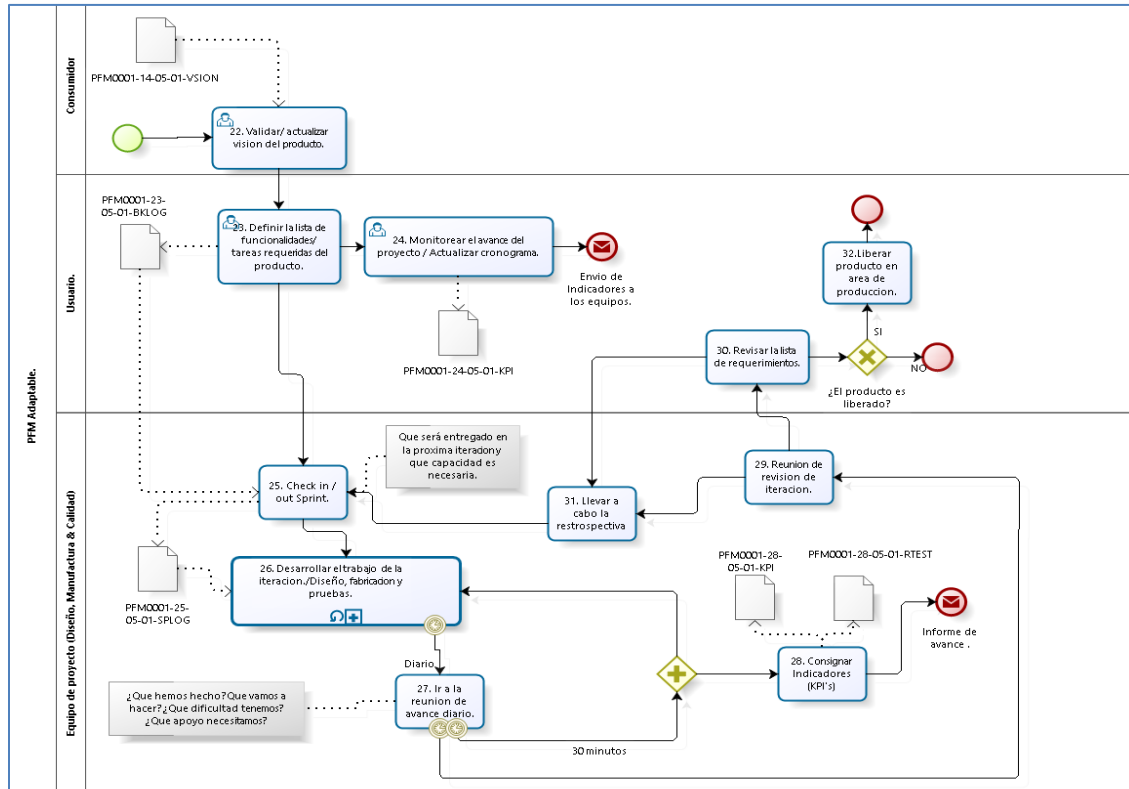


ILUSTRACIÓN 34: PROCESO PARA CICLO DE VIDA ADAPTABLE.

Una vez se ha validado y/o actualizado la visión del proyecto, tomando como insumo el archivo: "PFM0001-14-05-01-VSION", se procede a la realización de interpretación de la visión a funcionalidades críticas y prioritarias para el usuario. De este modo, el alcance estará dividido para iniciar la iteración. Los resultados de esta tarea se registrarán bajo el documento: "PFM0001-23-05-01-BKLOG", a medida que el equipo de trabajo vaya completando lo consignado en el mismo y se vaya liberando los subensambles para ser utilizados en por el usuario, se realizara el seguimiento de los indicadores de desempeño del proyecto (Ver ilustración 30).

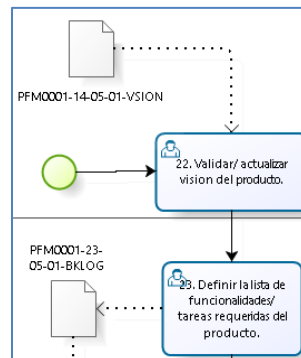
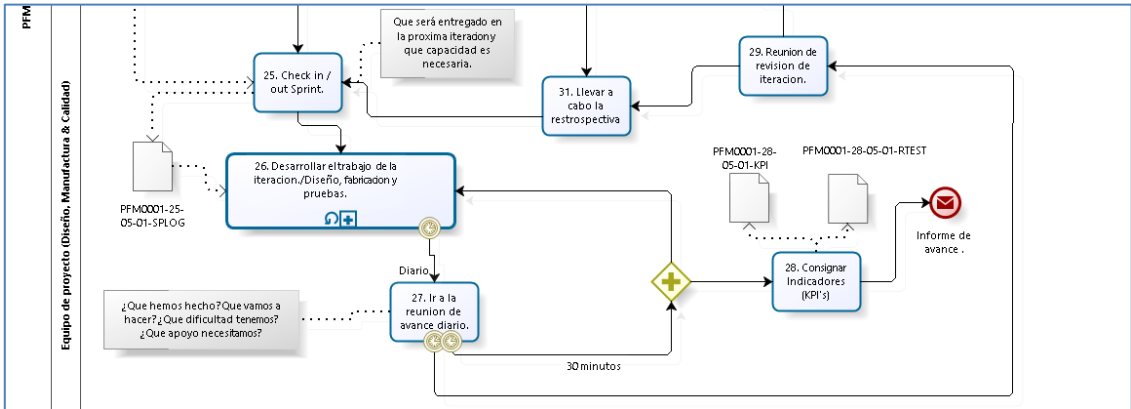


ILUSTRACIÓN 35: INICIO PROCESO PARA PROYECTO CICLO DE VIDA ADAPTATIVO

Una vez se reciba el insumo de la totalidad de funciones a satisfacer (alcance del proyecto) están completados bajo la tarea 23, el equipo de trabajo recibirá las funcionalidades críticas que han sido priorizadas y realizará una planeación de alto nivel para el desarrollo del trabajo. El equipo desarrollara el trabajo priorizado de manera conjunta, subdividiendo este alcance general en paquetes más pequeños de trabajo a fin de tener entregas planeadas que no excedan 1 mes (CITA). Consignando el entregable en el documento: “PFM0001-23-05-01-SPLOG”



Es importante mencionar que para el presente proceso el equipo de proyecto constituye todos los recursos humanos necesarios conformados como células de trabajo para desempeñar las tareas de diseño, manufactura y pruebas, a diferencia del proceso para un proyecto de ciclo de vida predictivo para el cual los integrantes de cada área serán responsables de cada entregable. El ciclo de vida adaptable es el escenario propicio para proyectos de una alta personalización o volatilidad en los alcances, sujeto a este hecho el trabajo será completado por iteraciones como se ha mencionado anteriormente. Por tal motivo, en el caso de los proyectos de máquinas, este hecho puede ser utilizado para completar la máquina por sub-ensambles hasta completar su fabricación (ver ilustración 31).

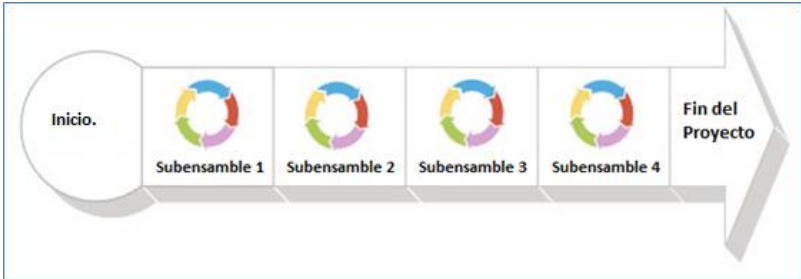


ILUSTRACIÓN 36: MÉTODO DE ENTREGAS DURANTE CICLO DE VIDA ADAPTABLE.

Al tener por completo el alcance detallado para la iteración, como se ha mencionado anteriormente, el equipo iniciara las tareas necesarias para realizar la entrega del sub-ensamble. Adicional a esto, de manera periódica indicara el progreso en la

construcción del mismo haciendo una reunión de avance con los interesados para después consignar la información que es insumo para el cálculo de los KPI (Tarea 26, 27 y 28). Para realizar el trabajo dentro de la iteración el equipo realizara un ciclo completo de desarrollo de producto iniciando en lo que es requerido hasta llegar a la fabricación, pruebas internas y entrega del sub-ensamble, haciendo al final una liberación de lo producido (ver ilustración 32).



ILUSTRACIÓN 37: DESCRIPCIÓN GRAFICA DEL CICLO DE LAS ETAPAS DENTRO DE CADA ITERACIÓN.

Ahora, cada vez que se vayan completando los trabajos que van dando fin a cada iteración se vuelve a iniciar una nueva iteración, realizando la retrospectiva de la iteración anterior y realizando la validación de los requerimientos restantes para su priorización. Dado que el método está orientado a hacer entregas rápidas, puede ser ocasional que los requerimientos cambien de prioridad con el fin de dar solución a lo más prioritario para la organización ocasionando que el equipo siempre estará enfocado en las necesidades de manera actualizada.

Tal como se observa en la ilustración 32 y 33, el equipo estará todo el tiempo en pro de completar el alcance pactado en forma de iteraciones que se traducen en sub-ensambles de máquina en estado funcional.

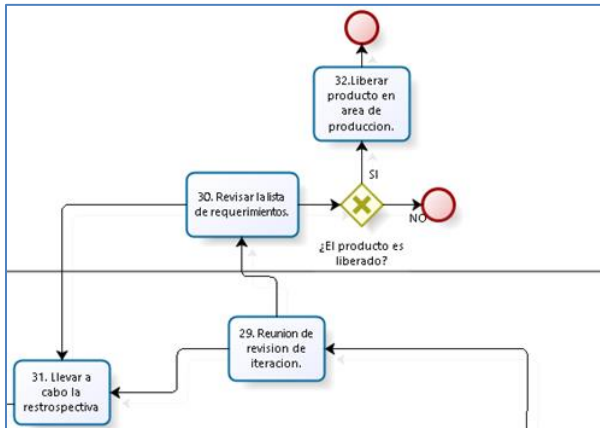


ILUSTRACIÓN 38: ETAPA FINAL DENTRO DEL CICLO: REVISIÓN, LIBERACIÓN Y RETROSPECTIVA.

El proyecto finalizara una vez se complete todo el alcance con los n sub-ensambles resultantes de la división inicial.

Proceso 7: Aceptación de usuario, Gestion de la transformación, aprovisionamiento y pilotos para puesta en producción.

Al completarse los trabajos por parte de los proyectos, para cualquiera de los dos ciclos de vida del proyecto, estos tendrán una tarea final de validación de usuario. Dado que el usuario ha estado presente a través de todo el ciclo de desarrollo de las máquinas, esta etapa obedece a un último alistamiento de ítems que pudieron no haber sido mencionados en los requerimientos y que requieran ser ajustados.

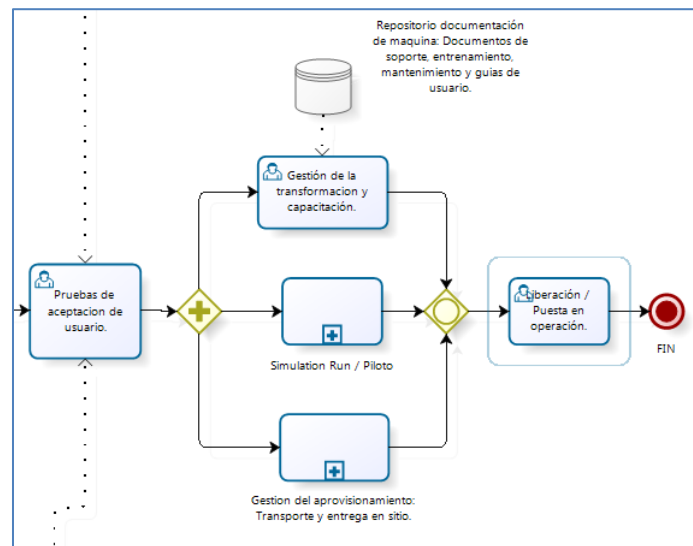


ILUSTRACIÓN 39: FIN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MÁQUINAS.

Al dar los detalles finales al producto, se procede a iniciar las tareas de gestión de la transformación, simulaciones o pilotos y gestión del aprovisionamiento previa a la puesta en operación. Dependiendo del tipo de proyecto de máquina a ser liberado estas tareas serán más robustas, teniendo en consideración que si la interacción de la máquina con líneas de producción, máquinas o personas es compleja mayor deberá ser el despliegue en estas actividades.

Para proyectos con alta interacción con el personal con la máquina, la tarea de gestión de la transformación tendrá retos mayores al transformar además la cultura de los operarios respecto al nuevo desarrollo. Por otra parte, si es un desarrollo que será adicionado a una línea automatizada esta podrá no tener ponderación importante en la gestión de la transformación. Sin embargo, la gestión del aprovisionamiento y las corridas de simulación o pilotos serán de gran esfuerzo para el equipo de proyecto hasta que las automatizaciones estén alineadas y puestas a punto.

En todo sentido, las tareas anteriormente mencionadas deben ser ejecutadas por el equipo de proyecto con diligencia, a fin de asegurar una correcta implementación, liberación y puesta en operación de lo fabricado, involucrando en todo momento la interacción entre máquinas, entre personas, entre máquinas y personas en pro del beneficio de la organización.

5. Indicadores de desempeño

En el caso de esta tesis, se plantean los KPI's como la métrica del rendimiento de la gestión del proyecto y los recursos utilizados para la consecución del mismo, entendiendo que los datos de desempeño del trabajo que serán los insumos para el cálculo de los KPI's, son los datos obtenidos durante la ejecución de las actividades para llevar a cabo el proyecto (Project Management Institute, Inc., 2013). Estos serán objeto de uso por todo el equipo para determinar los resultados entre los diferentes casos de estudio y deberán ser precisos e importantes (Issar & Navon, 2016) para contrastar lo obtenido entre diferentes escenarios. Para esta investigación en particular se compararán los casos: sin metodología, con fundamentación y estrategia PLM, y por ultimo con metodología y apoyo de sistemas de información de PLM/ALM.

Como método de gestión de estos, se propone el método de gestión del valor ganado (EVM). La cual es una metodología que combina medidas para evaluar el avance y desempeño de proyectos (Project Management Institute, Inc., 2013). También, es necesario que los KPI se identifiquen directamente con los objetivos a evaluar (Villa, 2015). Con esta premisa para este proyecto en particular se han seleccionado los KPI entorno a las variables de tiempo y costo, para lo que se tienen los siguientes: Índice de Desempeño del Alcance, del costo y del Cronograma.

Antes de especificar estos indicadores es necesario definir las variables input que tendrá cada uno como lo son: Valor Planificado (PV), requerimientos planificados (PR), requerimientos satisfechos (SR), valor ganado (EV) y costo real (AC).

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

5.1 Alcance

Los indicadores que han sido considerados para medir el alcance tienen como objetivo medir la eficiencia en el logro de los requerimientos planteados que hayan sido satisfechos por el proyecto, permite evidenciar si se presentan desviaciones entre el alcance planteado y el realmente entregado (Center of business practices, 2005).

Índice de Desempeño del Alcance:

Completar los requerimientos es uno de los factores clave de éxito para la gestión de proyectos (Center of business practices, 2005). Un índice de rendimiento de los requisitos puede medir el grado en que los resultados del proyecto cumplen con los requisitos.

Formula:

$$SPA = (RS/RP)$$

ECUACIÓN 1

Donde:

SPA= Índice de desempeño del alcance.

SR= Numero de requerimientos satisfechos.

PR= Numero de Requerimientos planificados.

5.2 Tiempo

Los indicadores definidos para el tiempo tienen por objetivo medir la eficiencia con la cual se está administrando los tiempos dentro del equipo de proyecto y además, permite evidenciar si se presentan desviaciones entre el cronograma planteado y el realmente ejecutado.

Índice de Desempeño del Cronograma:

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

Formula:

$$SPI = (EV/PV)$$

ECUACIÓN 2

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado.

PV= Valor planificado.

5.3 Costo

Los indicadores de costo del proyecto buscaran tener una medida del flujo de inversiones que han sido realizados en el mismo. Estos permitirán comprobar si existen diferencias entre el presupuesto planeado y lo realmente invertido. El objetivo de medir las metodologías con estos indicadores es evidenciar mejoras entre los mismos teniendo como referencia que se estará presenciando una mejora si se da una reducción de los mismos conservando el mismo alcance y cronograma.

Índice de Desempeño del Costo:

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

Formula:

$$CPI = (EV/AC)$$

ECUACIÓN 3

Donde:

SPI= Índice de desempeño del cronograma.

EV= Valor ganado.

AC= Costo real.

5.4 Interpretación de indicadores de rendimiento.

De acuerdo a los indicadores descritos se tendrán los siguientes comportamientos caracterizados para cada uno de los valores obtenidos como resultado de cada medición:

CRONOGRAMA			
ABREVIATURA	NOMBRE	INTERPRETACION DE RESULTADOS	UNIDAD
SPA	Indice de desempeño del alcance.	<ul style="list-style-type: none">• SPA>1: El proyecto reporta beneficios de los planeados.• SPI=1: El proyecto se comporta de acuerdo a lo planeado.• SPI<1: El proyecto reporta beneficios menores a los planeados.	NA

TABLA 3: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS INDICADOR DE RENDIMIENTO DEL ALCANCE.

CRONOGRAMA			
ABREVIATURA	NOMBRE	INTERPRETACION DE RESULTADOS	UNIDAD
SPI	Indice de desempeño del cronograma.	<ul style="list-style-type: none"> • SPI>1: Adelantado respecto al cronograma de proyecto. • SPI=1: El proyecto se comporta de acuerdo al cronograma. • SPI<1: El proyecto se encuentra retrasado respecto al cronograma. 	NA

TABLA 4: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL INDICADOR DE CRONOGRAMA.

COSTO			
ABREVIATURA	NOMBRE	INTERPRETACION DE RESULTADOS	UNIDAD
CPI	Indice de desempeño del costo.	<ul style="list-style-type: none"> • CPI>1: El costo de proyecto al corte está por debajo del costo planificado. (Eficiente en la gestion de costos.) • CPI=1: El costo de proyecto al corte es igual al costo planificado. (Equilibrio) • CPI<1: El costo de proyecto al corte está por encima del costo planificado. (Ineficiente en la gestion de costos.) 	NA

TABLA 5: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL INDICADOR DE COSTO.

6 Implementación Product lifecycle Management System (PLMS)

6.1 ARAS Innovator PLMS

Como se ha mencionado anteriormente ARAS Innovator es un PLMS de código libre, bajo costo y fácil instalación lo cual constituye una buena opción para ser utilizado para aplicaciones locales (Ruiz Arenas, 2012). Por lo tanto, ha sido el sistema seleccionado para la presente implementación.

Para la realización de una implementación que no conlleve sobreesfuerzos, es necesario profundizar acerca de los elementos, objetos y módulos que se encuentran en la herramienta. Es importante mencionar nuevamente que ARAS Innovator es un aplicativo web el cual cuenta con una infraestructura sencilla, constituyendo para la presente implementación pocas integraciones con sistemas legacy.

Una vez se ha ingresado en ARAS Innovator, el sistema despliega el siguiente front-end:

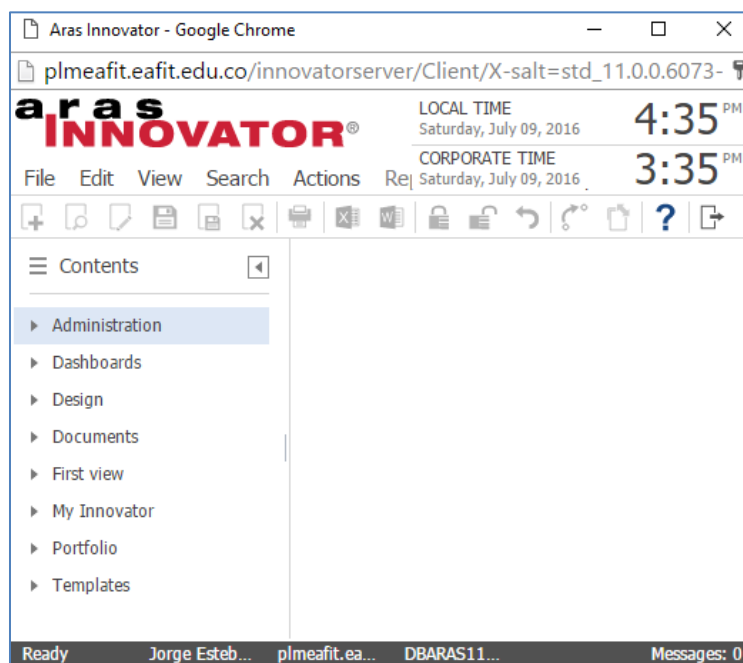


ILUSTRACIÓN 40: ARAS INNOVATOR FRONT-END.

El menú observado a la izquierda de la pantalla del usuario es llamado “Árbol de contenidos” (del inglés: *Tree of contents / TOC*). Al abrir el módulo de administración, ARAS permitirá la configuración de varios ítems necesarios para las implementaciones de este sistema (Ver ilustración 40), a continuación, se mencionan los que han sido utilizados en esta implementación:

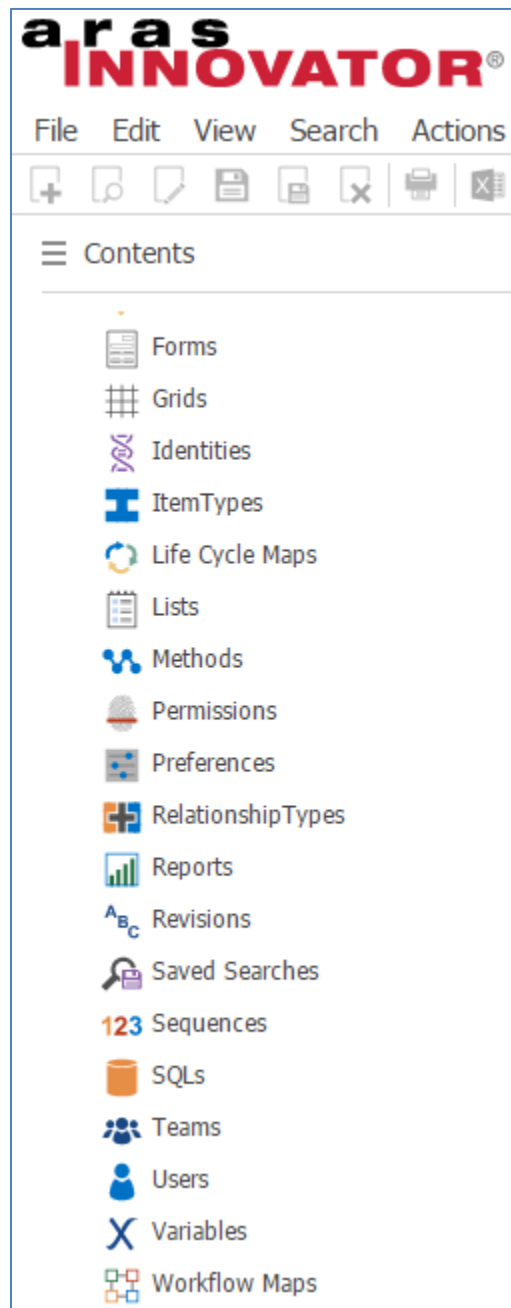


ILUSTRACIÓN 41: MÓDULOS PARA USUARIO ADMINISTRADOR.

Descripción de Módulos utilizados:

- Item Type: Un ItemType es un objeto de negocio que es administrado por Innovator. Es la plantilla, o la definición de los elementos que se crean de la misma. Podemos definir ítem, como un el elemento que permite representar características y comportamientos dentro de ARAS.

Casi todo en Innovator se define a través de un ItemType. Estos definen las propiedades, formas o vistas disponibles para los productos, ciclos de vida de

producto, flujos de trabajo asociados con los productos, permisos y relaciones (ARAS CORP, 2016).

- **Permissions:** Este módulo básicamente guarda la relación entre el nombre de las identidades y los derechos y privilegios que tiene asignada la misma, tanto como la habilidad de crear, modificar, eliminar o editar entidades dentro de ARAS Innovator (ARAS CORP, 2016).

Name	Get	Update	Delete	Can Discover
Aras PLM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
All Employees	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

ILUSTRACIÓN 42: PROPIEDADES EN MODULO "PERMISSIONS"

- **Relationships:** Permite la unión de datos entre ItemTypes, formando la relación entre todos los objetos dentro de ARAS (ARAS CORP, 2016).
- **Life cycle:** es una serie de estados (es decir, etapas o puertas) que atraviesa una instancia de producto durante su existencia. Un ciclo de vida se compone de los estados, que son básicamente una serie de acciones y medidas, y transiciones, que son básicamente caminos entre los diferentes estados (ARAS CORP, 2016).
- **Workflows:** es una secuencia definida de actividades que representan un proceso de negocio (ARAS CORP, 2016). En Innovator un mapa de flujo de trabajo representa la plantilla para un proceso de negocio que se pueden ejecutar muchas veces. Un ejemplo de un mapa de flujo de trabajo se llama un proceso de flujo de trabajo (Ver figura 42).

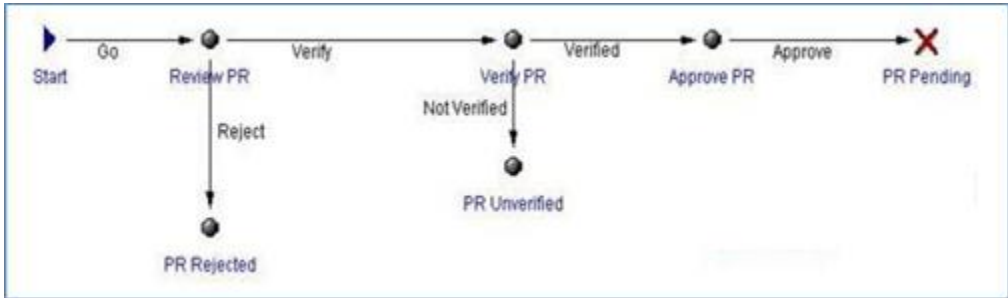


ILUSTRACIÓN 43: EJEMPLO DE WORKFLOW. FUENTE: ARAS CORP.

- Parts:** Son el elemento básico de cualquier aplicación de gestión de lista de materiales, y puede ser uno de los siguientes tipos de clasificación: componentes, montaje, materiales o software (ARAS CORP, 2016). Cada parte tiene también un ciclo de vida asociada a ella, como se muestra a continuación:

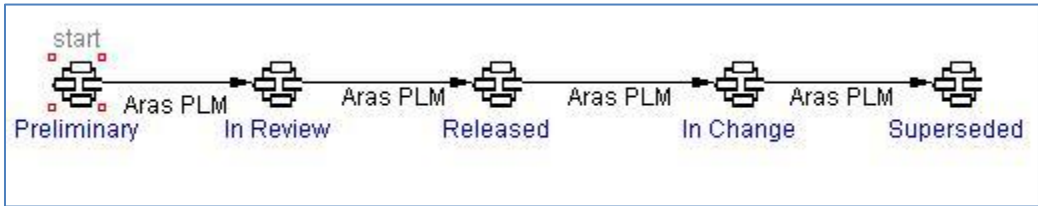


ILUSTRACIÓN 44: CICLO DE VIDA ASOCIADO A LAS PARTES CARGADAS A ARAS PLM.

- Project:** Es una herramienta que permite al Administrador de proyectos controlar el alcance y la duración de un proyecto, utilizando una estructura específica y otros elementos, como WBSs, actividades y entregables. El director de proyecto crea y organiza la estructura. A continuación, se les da la responsabilidad de las actividades específicas en el proyecto a miembros del proyecto. Cuando los miembros completan estas actividades, actualizan sus hojas de trabajo, que a su vez actualizan el proyecto, permitiendo que el Administrador de proyectos realice un seguimiento del progreso del proyecto (ARAS CORP, 2016).
- Dentro de ARAS PLM los proyectos tendrán el siguiente ciclo de vida asociado:

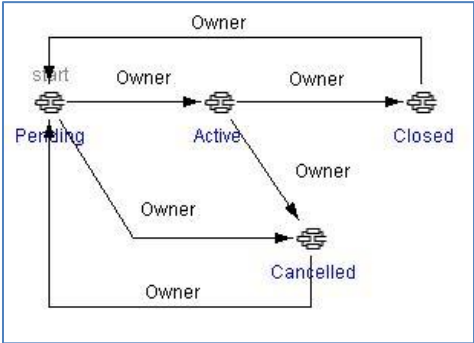


ILUSTRACIÓN 45: CICLO DE VIDA ASOCIADO A PROYECTOS EN ARAS.

6.2 Proceso para el desarrollo de fabricación de máquinas en PLMS ARAS

El desarrollo la estrategia de PLM está fundamentada en el modelo de estandarización de procesos, documentación e información consignada en la norma ISO 9000 (Ruiz Arenas, 2012).

Éste modelo orientado a procesos permite definir con certeza los actores, objetivos, tareas y momentos en que se deben llevar a cabo cada una de las actividades que conforman un proceso determinado (citar profesor Cartagena), estableciendo con claridad el tipo de información que es necesaria con el objetivo, en este caso particular, de garantizar una dirección coherente a través de la ejecución de los proyectos.

Como se ha mostrado durante el desglose del proceso, la introducción de una nomenclatura ha sido necesaria para la identificación de los diferentes documentos y procesos en concordancia a lo mencionado. De acuerdo a esto, para hacer la implementación se determinan 5 bloques de trabajo con la siguiente documentación y roles dentro del proceso:

Documentos bloque I: Procesos de generación de Ideas.

- Bajo demanda (pull)

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
1. Convocatoria de Ideas.	Usuario Interno		
02. Enviar Formulario de solicitud y recordatorios	Usuario Externo	PFM0001-02-04-01-IDEA	PFM0001-02-05-01-IDEA
5. Idea Recibida acorde a parámetros de entrega.	Sistema		
6. Inspección de contenidos de propuesta.	Usuario Interno	PFM0001-06-05-01-INPEC	
7. Enviar a Repositorio de proyectos.	Sistema		

- Lanzamiento de productos (Push)

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
8. Análisis e identificación de necesidades equipo interno.	Equipo de proyecto interno		
9. Analisis del entorno (DOFA)	Equipo de proyecto interno	PFM0001-09-04-01-DOFA	PFM0001-09-05-01-DOFA
10. Iniciativas y proyectos con scoring. (BSC)	Equipo de proyecto interno	PFM0001-10-04-01-BSC. PFM0001-09-05-01-DOFA	PFM0001-10-05-01-BSC
11. Analizar tendencias de mercado (BSC)	Equipo de proyecto interno		PFM0001-11-05-01-BSC
12. Re / Priorización de Iniciativas basados en scoring.	Equipo de proyecto interno		
13. Obtener Aprobación de proyectos a desarrollar.	Aprobador 1.		

Documentos bloque II: Procesos de validación técnica, administrativa y financiera

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
14. Definición de objetivo General del proyecto.	Equipo Administrativo	PFM0001-14-04-01-VSION	PFM0001-14-05-01-VSION

15. Análisis Financiero.	Equipo Administrativo		
16. Analisis Costo/beneficio.	Equipo Administrativo		
17. Diseño Conceptual.	Equipo Administrativo		
18. Funciones y sub-ensambles críticos.	Equipo Administrativo		
19. Evaluación de VoBo y definición de objetivos específicos.	Aprobador 2.	PFM0001-19-04-01-APROB	PFM0001-19-05-01-APROB

Documentos bloque III: Priorización y definición del ciclo de vida del proyecto:

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
20. Priorizar proyectos de acuerdo a la capacidad e impacto en el negocio.	Equipo de proyecto interno		PFM0001-20-05-01-CPDAD
21. Determinar ciclo de vida de proyecto: Ciclo de vida predictivo o ajustable.	Equipo de proyecto interno	PFM0001-20-05-01-CPDAD	

Documentos bloque IV: Desarrollo y fabricación de la máquina

- **Proyecto con ciclo de vida adaptable:**

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
22. Validar/ actualizar	Usuario Externo	PFM0001-14-	

vision del producto.	/ consumidor	05-01-VSION	
23. Definir la lista de funcionalidades/ tareas requeridas del producto.	Coach de proyecto.		PFM0001-23-05-01-BKLOG
24. Monitorear el avance del proyecto / Actualizar cronograma.	Coach de proyecto.		PFM0001-24-05-01-KPI
25. Check in / out Sprint.	Coach de proyecto.		PFM0001-25-05-01-SPLOG
26. Desarrollar el trabajo de la iteración./Diseño, fabricación y pruebas.	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad)		
27. Ir a la reunión de avance diario.	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad)		
28. Consignar Indicadores (KPI's)	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad)		PFM0001-28-05-01-KPI PFM0001-28-05-01-RTEST
29. Reunión de revisión de iteración.	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad)	PFM0001-23-05-01-BKLOG PFM0001-25-05-01-SPLOG	

30. Revisar la lista de requerimientos.	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad) y Coach.	PFM0001-23-05-01-BKLOG PFM0001-25-05-01-SPLOG	
31. Llevar a cabo la restrospectiva	Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad) y Orientador.		PFM0001-31-05-01-RETRO
32. Liberar producto en área de Usuario.	Coach de proyecto		PFM0001-32-05-01-LIBRAR

- **Proyecto con ciclo de vida predictivo:**

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
33. Crear la MRD (Master requirements document)	Gestión de usuario	PFM0001-33-04-01-MRD	PFM0001-33-05-01-MRDD
34. Clasificación y Priorización de requerimientos.	Gestión de usuario	PFM0001-33-05-01-MRDD	PFM0001-34-05-01-REQTO
35. Seleccionar las prioridades más altas y subdividir en paquetes de trabajo.	Gestión de usuario	PFM0001-34-05-01-REQTO	PFM0001-35-05-01-EDT
36. Construir un cronograma/plan de	Gestión de usuario	PFM0001-36-04-01-PLAN	PFM0001-36-05-01-

trabajo			PLAN
Envío a Diseño	Gestión de usuario		
37. Diseñar los elementos de acuerdo al cronograma y requerimientos.	Equipo de Diseño	Repositorio de documentación. PFM0001-36-05-01-PLAN PFM0001-33-05-01-MRDD PFM0001-34-05-01-REQTO	
38. Actualizar las etapas del cronograma de acuerdo a los diseños completados.	Equipo de Diseño		
39. Construir documentos de Diseño tecnico detallado.	Equipo de Diseño	PFM0001-39-04-01-DTD	PFM0001-39-05-01-DTD
40. Realizar validación con el usuario	Equipo de Diseño		
41. Comunicación con manufactura, Depositar diseños en repositorio.	Equipo de Diseño		
42. Cierre de etapa de diseños en el cronograma.	Equipo de Diseño		
Envío de notificación formal para inicio de manufactura.	Equipo de Diseño		
43. Realizar la fabricacion de acuerdo al cronograma.	Manufactura & Calidad.		PFM0001-43-05-01-AVNCE

44. Fabricar/ Re-procesar componentes y Partes no comerciales.	Manufactura & Calidad.	PFM0001-43-05-01-AVNCE	
45. Realizar compras de elementos comerciales.	Manufactura & Calidad.		
46. Realizar ensamble de componentes/ Actualizar etapa de cronograma.	Manufactura & Calidad.		
47. Calidad y pruebas de componentes críticos.	Manufactura & Calidad.		PFM0001-47-05-01-RTEST
Envío de notificación formal para inicio de Aceptación de usuario.	Manufactura & Calidad.		

Documentos bloque V: Aceptación de usuario, Gestión de la transformación, aprovisionamiento y pilotos para puesta en producción.

Actividad	Rol a cargo	Métodos y herramientas	Entregables
48. Pruebas de aceptación de usuario.	Usuario		
49. Gestión de la transformación y capacitación.	Equipo de proyecto	Repositorio documentación de máquina: Documentos de soporte, entrenamiento, mantenimiento y guías de usuario.	

50. Simulation Run / Piloto	Equipo de proyecto		
51. Gestión del aprovisionamiento: Transporte y entrega en sitio.	Equipo de proyecto		
52. Liberación / Puesta en operación.	Equipo de proyecto		

6.1 Configuración de usuarios en el sistema

En concordancia a lo puntuado por Ruiz Arenas, Los sistemas de información para administración a través del ciclo de vida del producto (Product lifecycle management systems / PLMS) consideran la definición de roles y perfiles de acceso a la información dentro de las opciones de administración del mismo. De este modo, se definen dentro del PLMS tareas a ser ejecutadas por roles que pueden representar un cargo o una función dentro de las organizaciones, prescindiendo de dependencias de unicidad y permitiendo inclusive relevos de la responsabilidad de la ejecución de tareas a grupos con el mismo nivel de permisos(Echeverri Cartagena, 2013).

En específico para el caso del sistema de información de PLM ARAS Innovator TM, lo anterior no es ajeno en el momento de la configuración del sistema. En el caso específico de este sistema se definen Identidades de grupo, individuales y usuarios que tendrán acceso al sistema Todos los usuarios que accedan a ARAS Innovator lo realizarán a través de la web ingresando su usuario y contraseña propio (Ver figura 39).

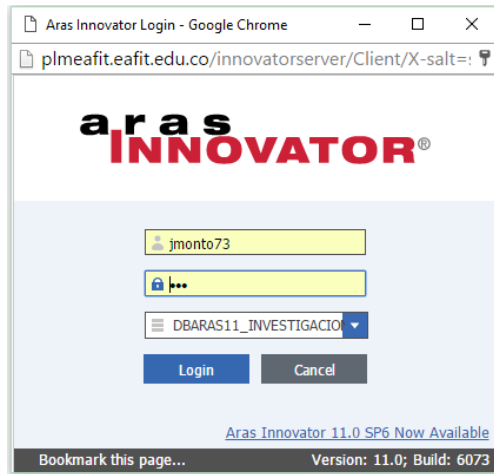


ILUSTRACIÓN 46: INGRESO A ARAS PLM

Cada usuario de sistema generará por lo menos la identidad individual de ingreso a la herramienta, estableciendo en el módulo de identidades el total de usuarios que tienen relación con el sistema. Como se mencionó anteriormente un usuario podrá tener entonces varias identidades asociadas a “alias” de acuerdo a los roles que desempeñe (Ver ilustración 40 y 41).

Name	Description	Is Alias	Classification
Administrators	Users with access to system administrative aspects	<input type="checkbox"/>	
All Customers	Main Organizational User Group	<input type="checkbox"/>	
All Employees	Main Organizational User Group	<input type="checkbox"/>	
All Partners	Main Organizational User Group	<input type="checkbox"/>	
All Suppliers	Main Organizational User Group	<input type="checkbox"/>	
Aras PLM	Internal identity for Aras PLM	<input type="checkbox"/>	
Area de Proyectos	SWT	<input type="checkbox"/>	
Asesor ERG		<input type="checkbox"/>	
Authenticators		<input type="checkbox"/>	
Carlos Palacio		<input checked="" type="checkbox"/>	
Carolina Marroquin		<input checked="" type="checkbox"/>	

ILUSTRACIÓN 47: MODULO "IDENTITY" ARAS PLM

	Name <input type="text" value="Juan Esteban Montoya"/>	Is Alias <input checked="" type="checkbox"/>
	Description <input type="text"/>	

ILUSTRACIÓN 48: DETALLE DE CONFIGURACIÓN DE USUARIO.

Finalmente, una identidad de grupo representa como su nombre lo indica un grupo que está compuesto por otras identidades o grupos (Ruiz Arenas, 2012). Para terminar la configuración se ingresan los permisos de administración de objetos (lectura,

escritura, modificación o eliminación) a través del módulo “permissions”, como se muestra a continuación:

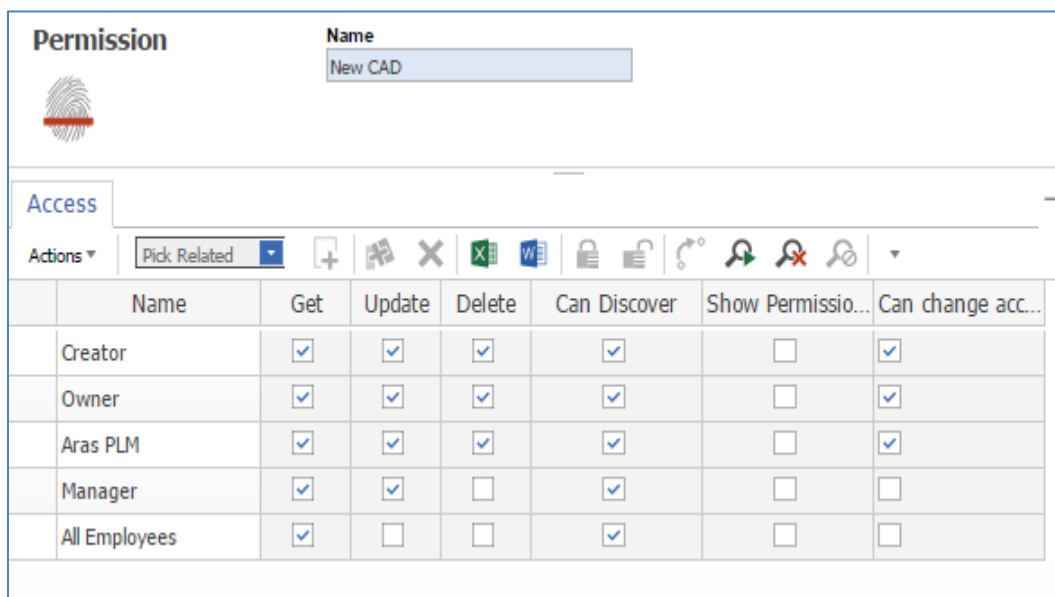


ILUSTRACIÓN 49: PERMISOS NUEVO DOCUMENTO CAD.

Para poder llevar a cabo la implementación en el sistema, este debe ser configurado por un Administrador, que corresponde a un Ingeniero de Sistemas que debe pertenecer al departamento de informática. Para ello, es requerido que tenga una disponibilidad laboral mínima de medio tiempo para la implementación de la herramienta, ya que debe dar respuesta también a imprevistos y actividades de soporte y mantenimiento de la plataforma (Ruiz Arenas, 2012).

6.3 Definición de accesos

A través del proceso desarrollado hasta el momento en la sección 7.2, se han identificado los siguientes roles de interacción en el proceso:

Bloque	Roles para el bloque de trabajo.
I	Usuario externo, Usuario Interno, Equipo de proyecto interno, Aprobador 1.
II	Equipo Administrativo, Aprobador 2.
III	Equipo de Proyecto Interno.
IV	a. Usuario Externo, Coach de proyecto, Equipo de proyecto (Diseño, Manufactura & Calidad). b. Gestión de usuario, Equipo de Diseño, Manufactura & Calidad.
V	Usuario, Equipo de proyecto.

TABLA 6: ROLES DE PROCESO.

Además de estos roles, se considera el rol de gerente de proyectos el cual es transversal a todo el proceso. Definidos los grupos de roles y los procesos, se continúa con la asignación de los permisos generales que aplican para las identidades de grupo previamente mencionadas. Ahora, es sustancial tener en cuenta que el PLMS Aras Innovator permite asignar una serie de accesos por función, y por estado dentro del ciclo de vida de cada entidad (Ruiz Arenas, 2012).

En Innovator un lifecycle define cada uno de los estados por los que puede pasar un ítem antes de ser aprobado (ARAS CORP, 2016). 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 (Ruiz Arenas, 2012).

En la sección 7.1, se ilustró como los permisos se asignan a través de la función “Permissions” de ARAS Innovator. Para este despliegue, los módulos se presentan a modo de resumen en la Tabla 8. Es de anotar que los estados cuyo permiso aparece como “N/A” se debe a que para él aplican los permisos generales definidos para el “ItemType”, que corresponden a la instanciación usada para “Preliminar”. Adicionalmente el “Not lockable” indica que no puede ser editado mientras esté en dicho estado por ningún usuario (Echeverri Cartagena, 2013).

Item	Estado del Ciclo de Vida	Instanciación de Permiso	Instanciación nueva o modificada
Documents	Preliminar	Nuevo Documento	Nuevo
	En revisión	Documento En Revisión	Nuevo
	Lanzado	N/A (Not lockable-Released)	Nuevo
Part	Preliminar	Nueva parte	Por Defecto
	En revisión	Parte en Revisión	Por Defecto
	Lanzado	N/A (Not lockable-Released)	Por Defecto
Project	Pendiente	Project	Por Defecto
	Activo		
	Cancelado		Por Defecto
	Cerrado		
Maquina	Ideación	Lanzamiento de Idea	Por Defecto
	Priorización	Priorización	Por Defecto
	Ejecución	Ejecución del PDFM.	Por Defecto
	Aceptación	Aceptación Usuario	Por Defecto
	liberación	Liberación a operación y estabilización.	Por Defecto

ILUSTRACIÓN 50: SET DE ITEMS UTILIZADOS EN “PERMISSIONS”

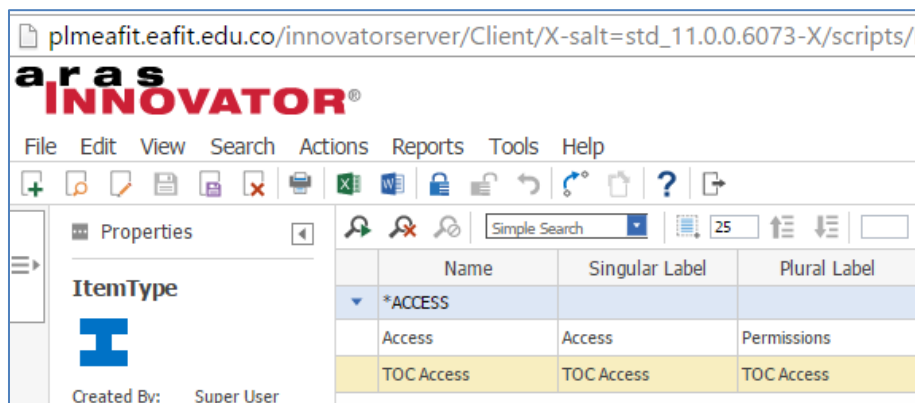
6.4 Configuración del TOC

Tabla de Contenidos (TOC) como se menciona anteriormente es la forma en la cual se brinda el acceso controlado a los módulos dentro de Innovator para cada usuario. Este menú contiene en iconos todos los ítems a los que el usuario puede acceder según los permisos que le han sido otorgados por el administrador, las categorías de acceso son representadas en carpetas o nodos del árbol en el TOC (ARAS CORP, 2016).

En cualquier escenario de implementación de cualquier tipo de proceso el usuario administrador tendrá su propio TOC con accesos a todas las categorías de ARAS Innovator. En contraposición a esto, todo usuario que entre a Innovator diferente al administrador solo tendrá acceso a las categorías que han sido configuradas para él (Echeverri Cartage2na, 2013; Ruiz Arenas, 2012). Estos usuarios con rol diferente a administrador para el presente proceso se detallan a continuación:

- Usuario externo
- Usuario Interno
- Aprobador 1
- Equipo Administrativo
- Gestión de usuario
- Aprobador 2.
- Equipo de Proyecto Interno
- Coach de proyecto
- Equipos de proyectos (Diseño,Manufactura & Calidad)
- Gerente de proyectos

En específico en Innovator, este proceso se realiza a través del módulo Itemtype ingresando a la opción “TOC ACCESS” (Ver Ilustracion 51).



Name	Singular Label	Plural Label
*ACCESS		
Access	Access	Permissions
TOC Access	TOC Access	TOC Access

ILUSTRACIÓN 51: TOC ACCESS EN ARAS INNOVATOR.

Allí se definen las características que se han mencionado hasta el momento, es decir acceso a objetos y categorías (carpetas) en que se va a clasificar dichos objetos. Dentro de “TOC ACCESS”, Se encuentra las tabs “TOC ACCESS” y “TOC VIEW” en las cuales se define el acceso de las identidades al contenido y su vista cuando se selecciona un elemento de la TOC respectivamente (ver ilustración 52 y 53).

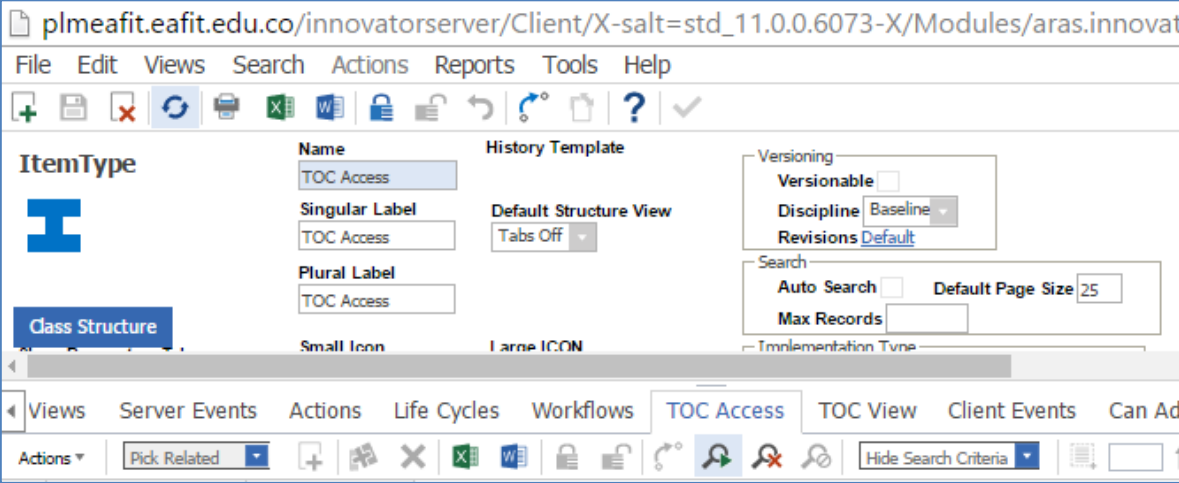


ILUSTRACIÓN 52: TOC ACCESS Y TOC VIEW TABS EN TOC ACCESS ITEM TYPE.

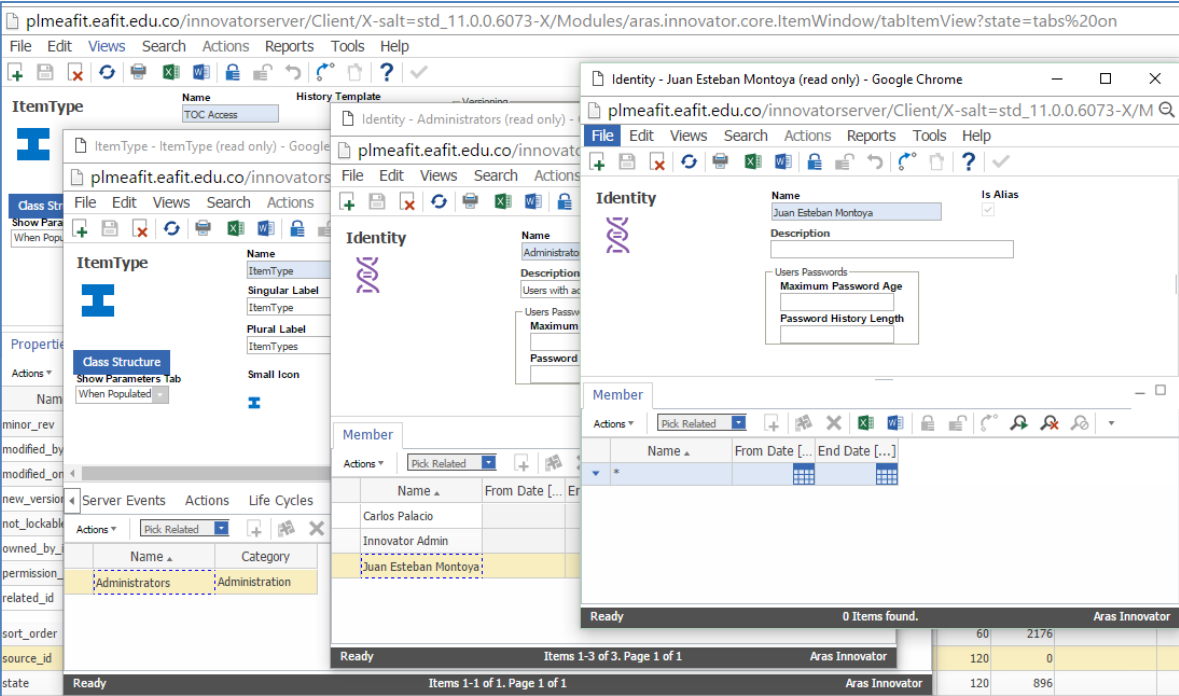


ILUSTRACIÓN 53: RELACION ITEM TYPES, ENTIDADES A TRAVES DE TOC ACCESS.

Basados en lo anterior en Innovator se consideran los siguientes TOC:

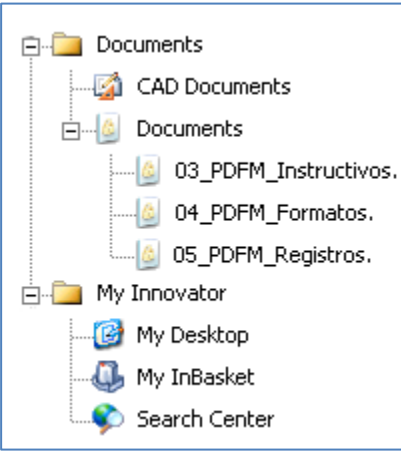
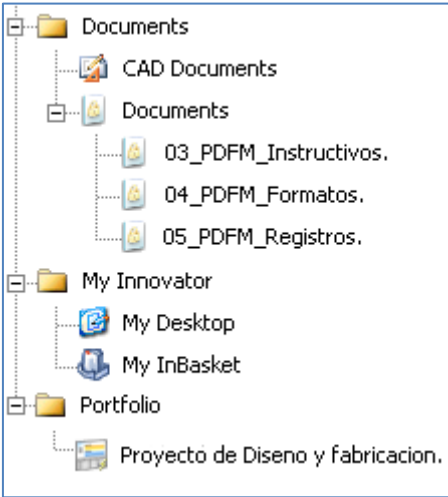
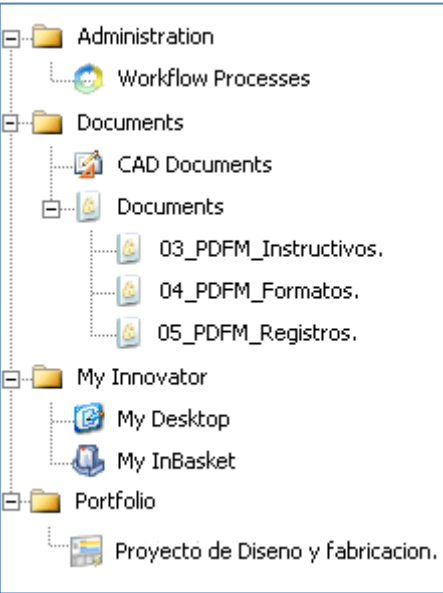
		
TOC_I	TOC_II	TOC_III

ILUSTRACIÓN 54: TOC'S DE LA IMPLEMENTACIÓN.

Estos TOC están mapeados con los roles tal como se muestra a continuación:

Roles.	TOC
Usuario externo, Usuario Interno, Aprobador 1, Equipo Administrativo, Gestión de usuario, Aprobador 2.	TOC_I
Equipo de Proyecto Interno, Coach de proyecto, Equipos de proyectos (Diseño, Manufactura & Calidad).	TOC_II
Gerente de proyectos	TOC_III

TABLA 7: TOC CONSIDERADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN MAPEADOS CON ROLES DE PROCESO.

Por último, es importante mencionar que los cambios que se apliquen desde el usuario administrador se reflejaran para todos los usuarios del sistema sin importar el TOC asociado. Para Aras PLM los TOC se comportan de modo padre-hijo, siendo el padre con todos los permisos el usuario administrador y los hijos las identidades o grupo de identidades en el sistema (ARAS CORP, 2016).

6.5 Proceso de fabricación de máquinas con fundamentación de PMI en PLMS

Para realizar la implementación del proceso expuesto en la sección 4.3, se procederá con el despliegue de este proceso a través de un motor de BPM o en el caso de ARAS se creara el workflow desde el modulo especificado para este propósito. Una vez, se ha

creado el workflow con los usuarios indicados para el proceso, se procederá con el inicio del mismo.

El usuario interno a la organización creara el cronograma de actividades en ARAS PLM a través del módulo “Project”. Este punto es esencial, dado que el sistema creará un ID único de proyecto bajo el cual se podrá gobernar toda la información del mismo a través del estándar de documentación propuesto en este trabajo. Para crear este ID, el usuario ingresa al sistema y se dirige al módulo mencionado como se muestra en las ilustraciones 55 y 56:

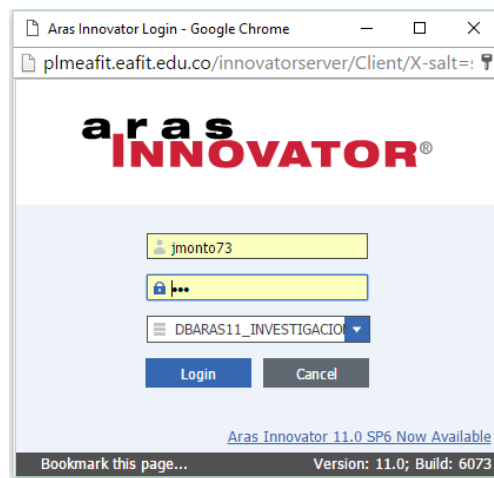


ILUSTRACIÓN 55: INGRESO A ARAS PLM

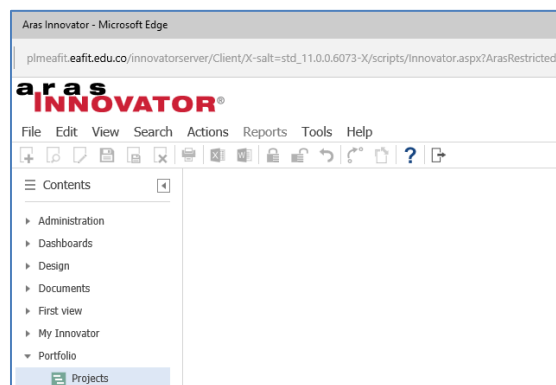


ILUSTRACIÓN 56: INGRESO A MODULO PROJECT

Estando allí, el modulo activara todas sus opciones para administración de cronogramas de proyecto. En caso de ser el primer ingreso, no se cargaran cronogramas, en caso contrario se precargaran los cronogramas a los que el usuario tenga acceso. Para crear el objeto de cronograma el usuario se dirige al botón de creación y el sistema despliega una pop-up que precarga la información mínima que es obligatoria para la creación del mismo, el nombre del proyecto (ID único), la fecha

inicio, fecha fin planeadas son solicitadas por el sistema. En caso de que los proyectos en su inicio y ciclo de vida estén altamente estandarizados en la organización, el sistema permite la creación de plantillas que podrán ser útiles para evitar la operatividad inicial de la creación de tareas uno a uno. En las siguientes figuras se muestra la activación del sistema y la ventana de datos iniciales, además del ingreso de información en los campos.

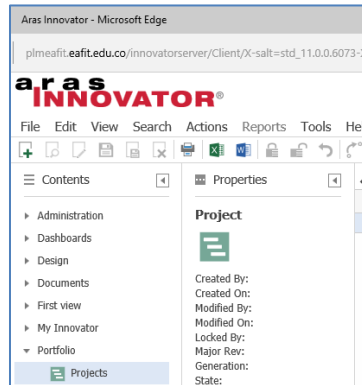


ILUSTRACIÓN 57: ACTIVACION DEL MODULO PROJECT.

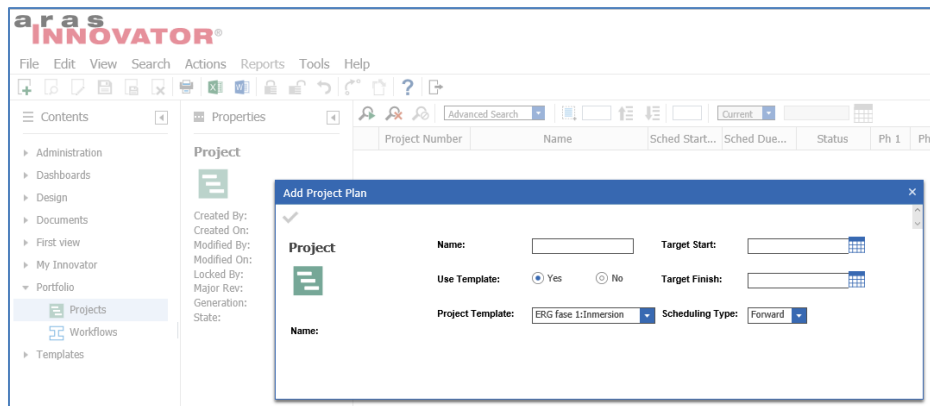


ILUSTRACIÓN 58: DATOS INICIALES PARA CREACIÓN DE CRONOGRAMA

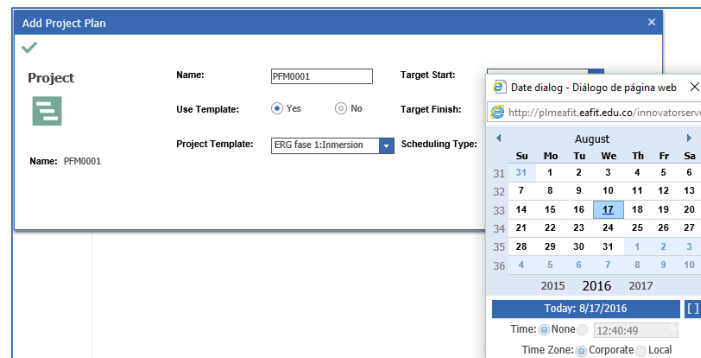


ILUSTRACIÓN 59: INGRESO DE DATOS TIPO FECHA.

Add Project Plan

✓

Project

Name: PFM0001 Target Start: 8/17/2016

Use Template: Yes No Target Finish: 11/25/2016

Project Template: ERG fase 1:Inmersion Scheduling Type: Forward

Name: PFM0001

ILUSTRACIÓN 60: DILIGENCIAMIENTO COMPLETO.

Una vez se complete la información en pantalla el usuario le envía el comando de creación al dar clic en la flecha de color verde que aparece en la parte superior derecha. En este punto, la información de más alto nivel ha sido creada y los detalles dentro del cronograma se podrán ingresar una vez se muestre el proyecto precargado en pantalla al utilizar la opción de edición. En este punto, se activará la pantalla para definición en detalle como se muestra a continuación:

Aras Innovator - Internet Explorer

http://plmeafit.eafit.edu.co/innovatorserver/Client/X-salt=std_11.0.0.6073-X/scripts/Innovator.aspx?ArasRestrictedMode=1

aras INNOVATOR®

LOCAL TIME Wednesday, August 17, 2016 1:42 PM

CORPORATE TIME Wednesday, August 17, 2016 12:42 PM

File Edit View Search Actions Reports Tools Help

Contents Properties

Project

Project Number	Name	Sched Start...	Sched Due...	Status	Ph 1	Ph 2	Ph 3	Ph 4	Ph 5	Ph 6	Ph 7	Ph 8
1321	PFM0001											

Created By:
Created On:
Modified By:
Modified On:
Locked By:
Major Rev:
Generation:
State:

Ready Jorge Esteban Montoya plmeafit.eafit.edu.co DBARAS11_INVESTIGACION Items 1-1 of 1. Page 1 of 1 Messages: 0

ILUSTRACIÓN 61: PROYECTO CREADO SIN DETALLES DEL CRONOGRAMA

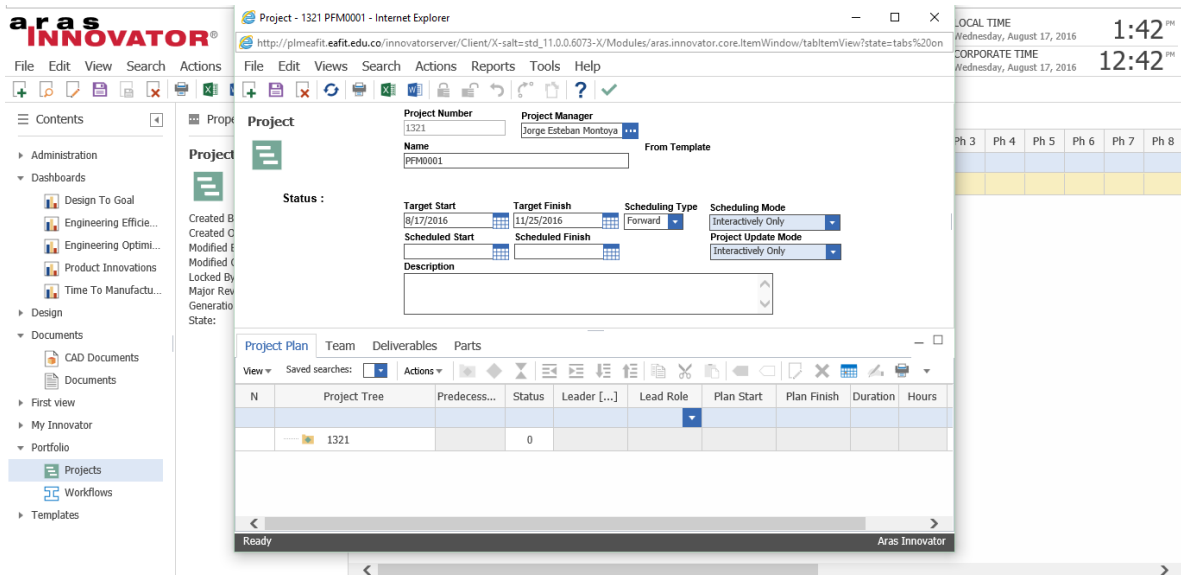


ILUSTRACIÓN 62: DESPLIEGUE DE LA PANTALLA DE DETALLES

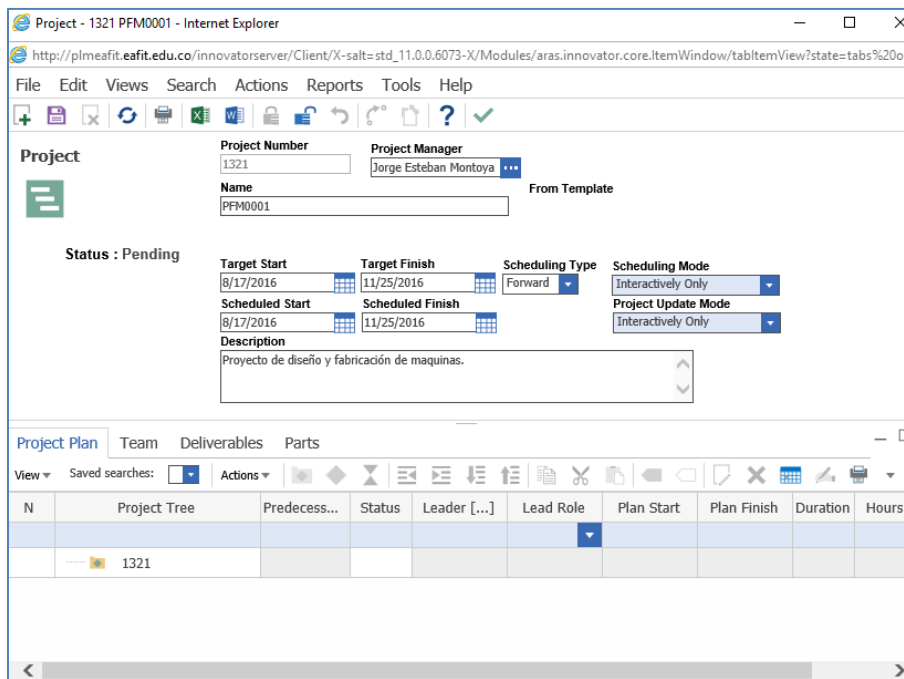


ILUSTRACIÓN 63: PANTALLA DILIGENCIADA.

N	Project Tree	Predecess...	Status	Leader [...]	Lead Role	Plan Start	Plan Finish	Duration	Hours
	01. Inicio		0						
	02. Diseño		0						
	03. Manufactura		0						
	04. Liberacion		0						

ILUSTRACIÓN 64: DETALLE DE ETAPAS CREADAS PARA EL PROYECTO.

Una vez el cronograma este creado a nivel de detalle con las actividades o paquetes de trabajo inscritos en el, desde este módulo se podrá llevar la trazabilidad y seguimiento de las tareas propias del proyecto, señalando hitos, entregables, fechas planeadas y capacidad requerida.

En cuanto a los documentos del proceso propuesto, estos podrán ser custodiados en el modulo “Documents”. Una vez allí, el usuario podrá realizar un procedimiento similar al de la creación de objetos en el módulo Project. Nuevamente, él se desplaza hasta el modulo y podrá utilizar las opciones de administración de objetos como creación, modificación, eliminación teniendo en cuenta el ID único creado en el módulo Project a fin de que toda la documentación esté dentro del estándar. A continuación se muestran las pantallas del proceso.

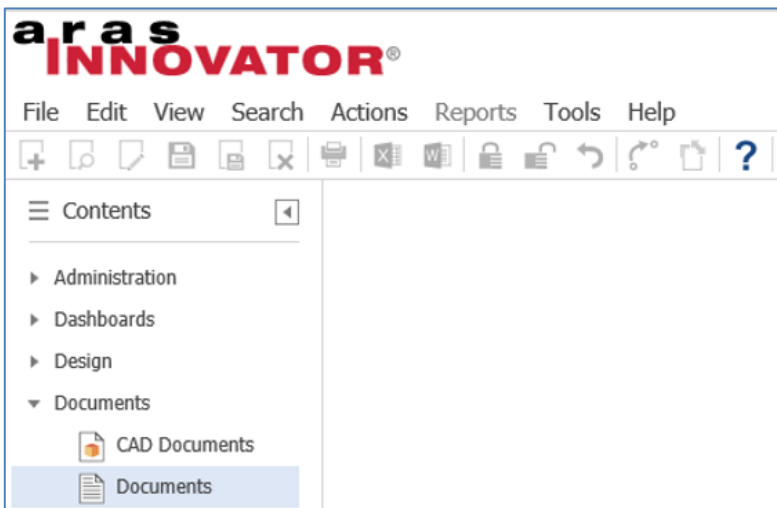


ILUSTRACIÓN 65: SELECCIÓN DEL MODULO DE DOCUMENTS.

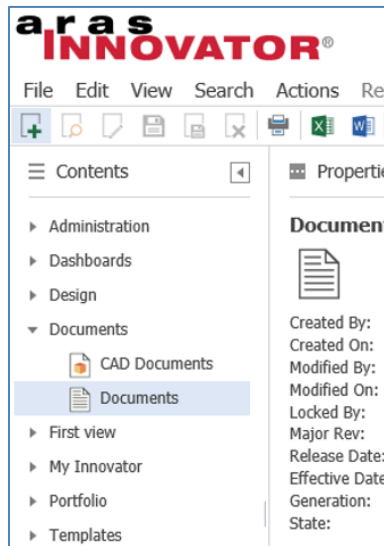


ILUSTRACIÓN 66: ACTIVACIÓN DEL MODULO.

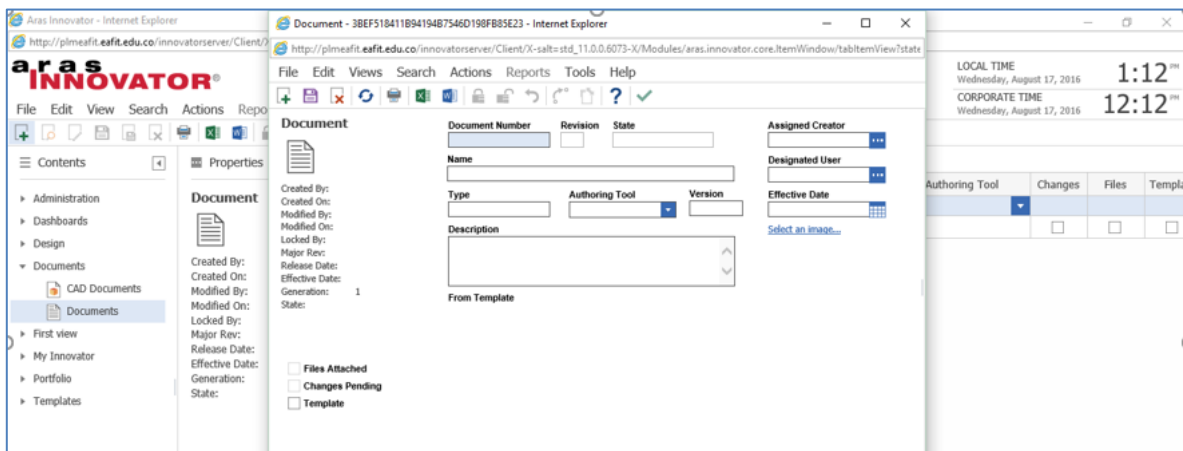


ILUSTRACIÓN 67: INFORMACION OBLIGATORIA PARA CREACION DE OBJETOS.

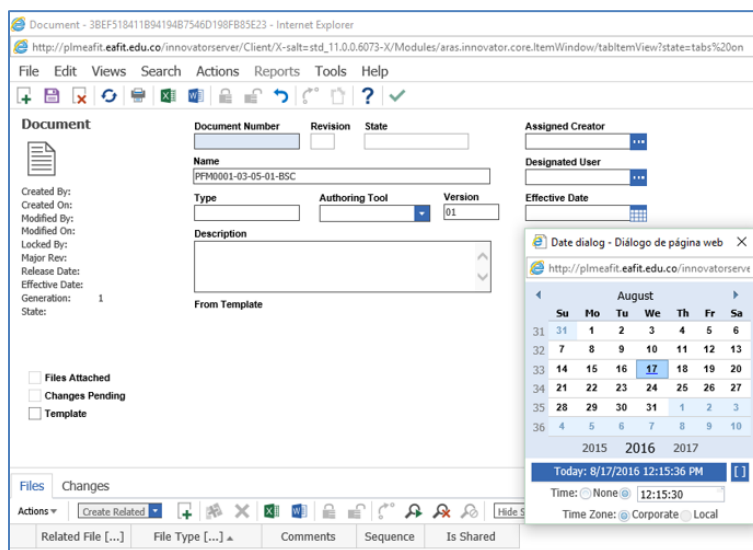


ILUSTRACIÓN 68: DILIGENCIAMIENTO DE CAMPOS NOMBRE Y FECHA EFECTIVA.

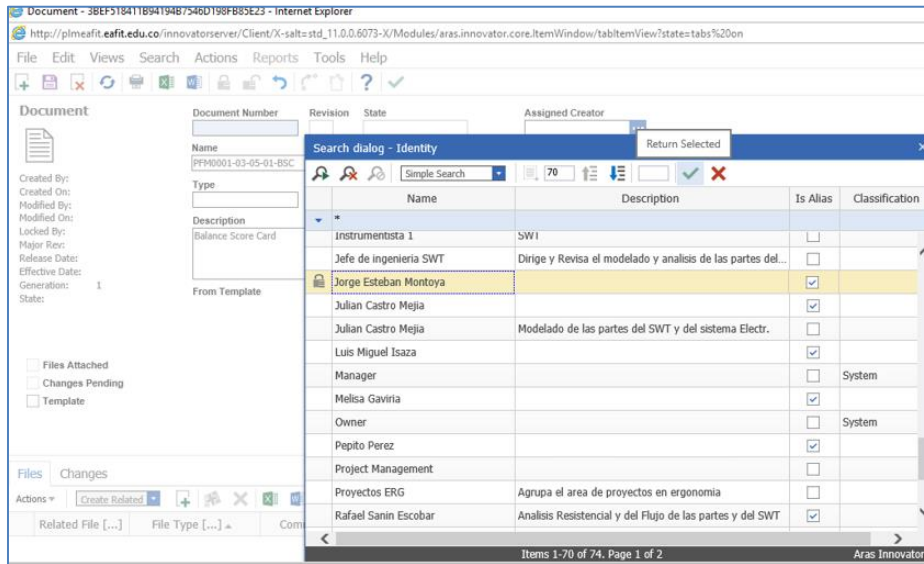


ILUSTRACIÓN 69: CUADROS DE DIALOGO PARA DILIGENCIAMIENTO DE CREADOR Y APROBADOR DE DOCUMENTOS.

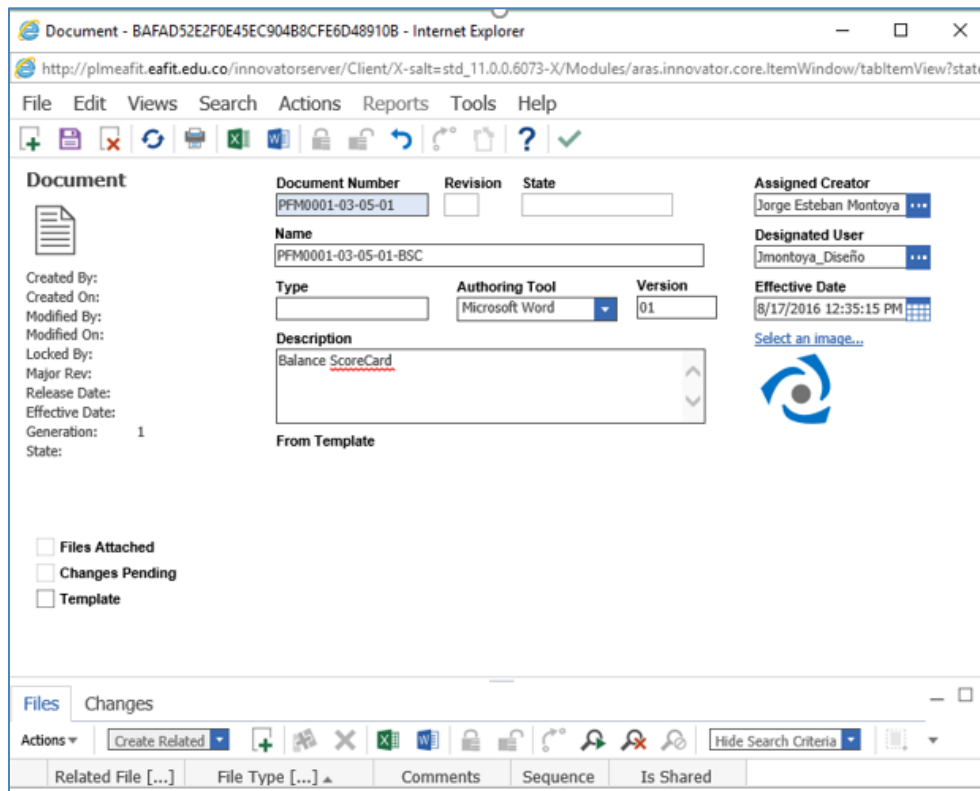


ILUSTRACIÓN 70: PANTALLA COMPLETAMENTE DILIGENCIADA PARA DOCUMENTO.

Con las ilustraciones presentadas se puede claramente identificar que el sistema permite la carga de documentos creando relaciones entre diferentes módulos del mismo. Además, detalla los participantes de las actividades relacionadas a los

documentos incluyendo fechas descripciones e iconos ilustrativos que sirvan para su identificación. En cuanto al módulo de documentos CAD y modelaciones CAD/CAM/CAE, este sigue el mismo modelo de operación que se ha mostrado anteriormente en los respectivos módulos de “CAD dDocuments”, “Parts” y “Products”. Al terminar la acción de edición o creación del usuario, el sistema despliega información propia a modo de registro desde el servidor donde se encuentra la información como se muestra a continuación:

ILUSTRACIÓN 71: DOCUMENTO CREADO CON LOG DE INFORMACIÓN (PARTE IZQUIERDA).

Por último, después de accionar la opción guardar, al darle clic al botón en forma de flecha verde el documento quedará disponible en el sistema como sigue a continuación:

Document Number	Revision	Name	Type	State	Authoring Tool	Changes	Files	Templai
PFM0001-03-05-01	A	PFM0001-03-05-01-BSC		Preliminary	Microsoft Word	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ILUSTRACIÓN 72: DOCUMENTO CREADO Y CUSTODIADO EN ARAS.

7.1 Estructura de la tesis, casos de estudio y publicaciones.

Cada parte de esta tesis ha sido escrita con el objetivo de crear, documentar y comunicar las experiencias obtenidas a la comunidad y a la sociedad general. En consecuencia, los casos de estudio se han sometido a proceso de validación en revistas científicas bajo criterio y juicio de expertos en los temas tratados en cada sección.

Es así como en la sección “ANEXOS”, se presentan las publicaciones de los casos de estudio analizados en las diferentes investigaciones, validaciones e implementaciones de este proyecto con las respectivas notas para referenciar los mismos.

A continuación, se muestra una visión en conjunto de la relación entre los casos de estudio, partes de la tesis y publicaciones.

CASO DE ESTUDIO	PARTES DE LA TESIS	ANEXOS - PUBLICACIONES
Estado del arte del PLM en Colombia.	Estado del Arte.	Technologies for manufacturing: Product Lifecycle Management approach in Colombia.
Fabricación de máquinas con método AS- IS	Método AS- IS.	Diseño y fabricación de aerogeneradores en proyectos académicos de ingeniería de producción bajo el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI).
Fabricación de máquinas con método TO-BE	Método TO-BE.	a. Aplicación del marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI) para la asignatura Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos. b. Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM: Caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad de ingeniería.
Fabricación de máquinas con fundamentación PMI en sistemas de información PLM	Implementación de sistemas de Product Lifecycle Management (PLMS).	a. Implementación de metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLMS). b.

TABLA 8: RELACIÓN ENTRE CASOS DE ESTUDIO, TESIS Y PUBLICACIONES.

8 Análisis de Resultados.

8.1 Análisis de resultados de la investigación.

Para la medición y comparación de los resultados de la implementación de los métodos descritos con anterioridad se ha analizado un grupo de 40 proyectos, teniendo cada metodología 10 proyectos con las siguientes características: El alcance de los proyectos es el diseño y fabricación de máquinas o equipos para manufactura, los cronogramas de proyecto consideran 16 semanas de trabajo, el número de integrantes de cada uno de los proyectos es de 5 personas además de considerar 1 rol adicional de director del programa de proyectos.

De manera adicional, los proyectos fueron ejecutados seccionando cada año en semestres y dentro de cada semestre encontrándose cada uno de los mismos se enmarca el uso de cada método. Cabe mencionar que, de manera especial, se identificó la posibilidad de utilizar software de BPM para el desarrollo del método TO-BE previo a la implementación del sistema de PLM. Por último, el entorno de desarrollo de cada proyecto permanece homologado teniendo como diferencia principal el uso de métodos diferentes, herramientas y formatos.

A continuación, se registran los resultados promedio de los indicadores para la muestra de los proyectos:

KPI de:	Sin Método	AS-IS	TO-BE	TO-BE con PLM.	Observaciones
Alcance.	0.4	0.6	1.2	1.4	Entregables liberados a la semana 16.
Tiempo.	0.35	0.89	1.24	1.60	16 semanas de trabajo planeadas.
Costo.	2.43	1.82	1.12	0.91	Comparado con el presupuesto y cotizaciones realizado por cada proyecto con el mismo alcance y cronograma.

TABLA 9: INDICADORES DE RENDIMIENTO OBTENIDOS.

Para facilitar el análisis y la visualización, a continuación, se representan las distancias entre los indicadores de rendimientos de los procesos de ingeniería inmersos:

- a. Diferencias porcentuales rendimiento de la variable alcance.

Alcance				
Diferencias porcentuales respecto al método:	Empírico	AS-IS	TO-BE	TO-BE con PLM.
Empírico	0%	50%	200%	250%
AS-IS		0%	100%	133%
TO-BE			0%	17%
TO-BE con PLM.				0%

TABLA 10: DIFERENCIAS PORCENTUALES VARIABLE ALCANCE.

- b. Diferencias porcentuales rendimiento de la variable tiempo.

Tiempo				
Diferencias porcentuales respecto al método:	Empírico	AS-IS	TO-BE	TO-BE con PLM.
Empírico	0%	154%	254%	357%
AS-IS		0%	39%	80%
TO-BE			0%	29%
TO-BE con PLM.				0%

TABLA 11: DIFERENCIAS PORCENTUALES VARIABLE TIEMPO.

- c. Diferencias porcentuales rendimiento de la variable costo.

Costo				
Diferencias porcentuales respecto al método:	Empírico	AS-IS	TO-BE	TO-BE con PLM.
Empírico	0%	-25%	-54%	-63%
AS-IS		0%	-38%	-50%
TO-BE			0%	-19%
TO-BE con PLM.				0%

TABLA 12: DIFERENCIAS PORCENTUALES VARIABLE COSTO.

Al representar los resultados gráficamente, se observa el progreso entre las implementaciones ofreciendo la posibilidad de identificar algunas tendencias:

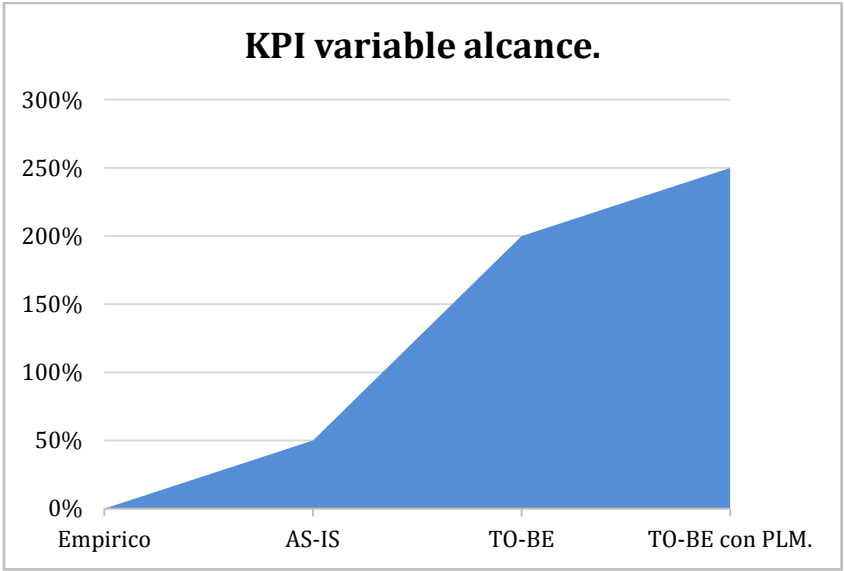


ILUSTRACIÓN 73: KPI VARIABLE ALCANCE: EVOLUCIÓN DE ENTREGABLES ENTRE LAS IMPLEMENTACIONES

Un hecho particularmente interesante es que con la gestión de cambio entre metodologías se observa un incremento en la calidad de entregables que son liberados por los proyectos, logrando que el indicador de desempeño del alcance presente un progreso notable en cada fase de cambio. De acuerdo a los datos, la última implementación del proceso con soporte en el sistema de información, ha sido el que mayor cantidad de ítems producto de los proyectos, logra conservar (Ver ilustración 55).

A partir de lo anterior surge interés en conocer además de las cifras las gráficas que puedan denotar tendencias cruzadas de los diferentes indicadores a través de cada una de las fases de implementación. Al observar la gráfica de los KPI entre las implementaciones se observa un comportamiento que de acuerdo a la evolución del presente proyecto muestra resultados que denotan beneficios de manera incremental, disminuyendo tiempos de lanzamiento y costos.

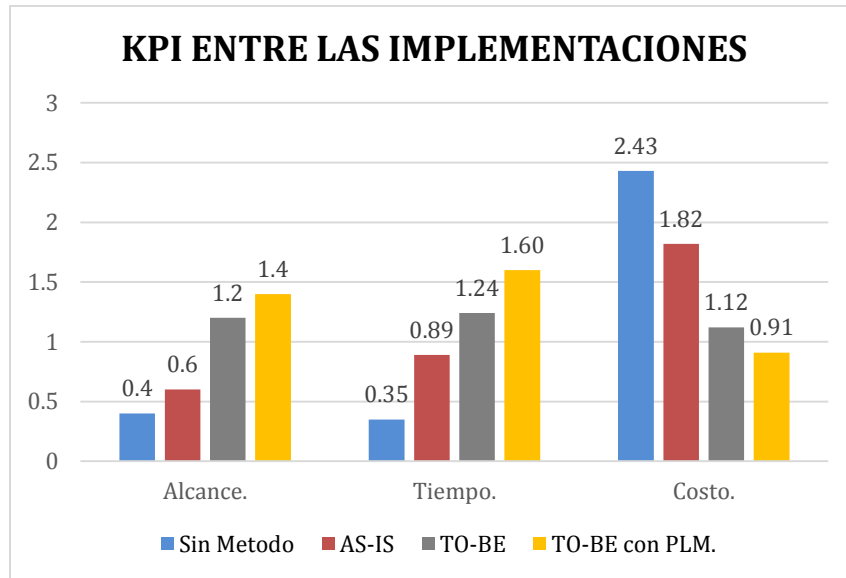


ILUSTRACIÓN 74: RENDIMIENTOS DE LOS PROCESOS

Ahora, si se estudia en específico la primera implementación del proceso propuesto con respecto al método formal, se observan cambios significativos con la utilización del BPM como propuesta de solución parcial antes del despliegue de la estrategia y sistema de información de PLM. En la ilustración 58 se pueden observar gráficamente los beneficios tempranos del cambio del proceso hacia uno con documentación estandarizada respetando un flujo de trabajo.

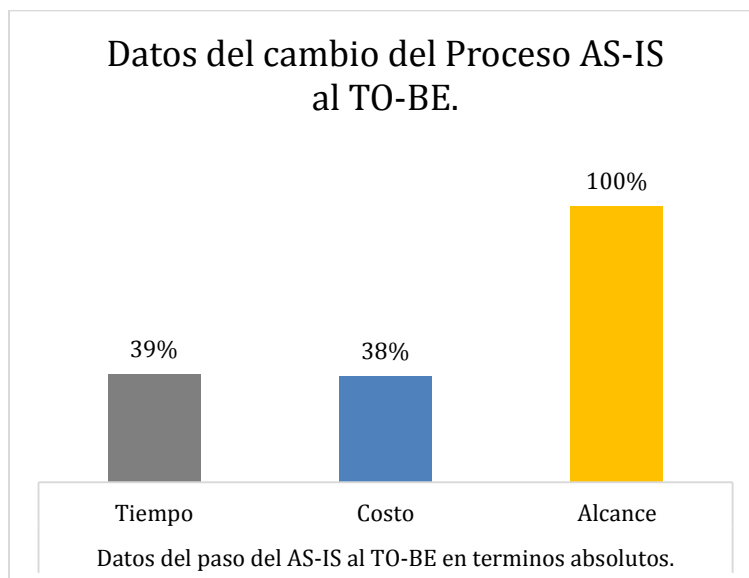


ILUSTRACIÓN 75: DATOS DEL CAMBIO DEL PROCESO AS-IS AL PROCESO TO-BE EN TERMINOS ABSOLUTOS.

Si bien el paso del AS-IS al TOBE presenta datos de relevancia para la investigación, resulta también de interés observar la ilustración de datos del paso del TOBE a el soporte del mismo en el PLMS. Si bien se tenían reportes de que los procesos de ingeniería mejorarían notablemente con el uso de la tecnología PLM, se observan resultados que de manera transversal afectan a los 3 indicadores propuestos. Una mejora considerable en las que se representan reducciones del 29% y 45% del comportamiento de los indicadores de costo, tiempo y un aumento del cumplimiento del alcance de un 45% (Ver ilustración 57).

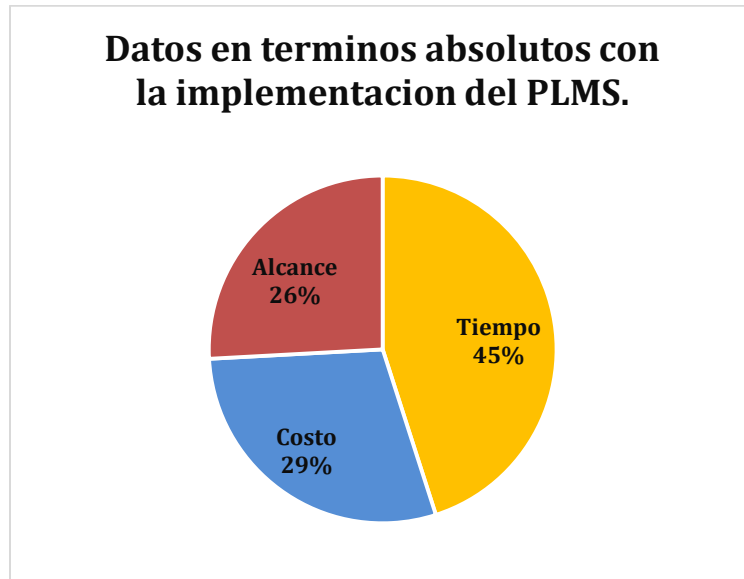


ILUSTRACIÓN 76: BENEFICIO GLOBAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLMS.

En adición a los hechos previamente comentados, se logra inferir y detallar las tendencias en variables de KPI de tiempo y costo. Teniendo aproximaciones matemáticas de gran ajuste se propende, para enriquecer el análisis, por el uso de las ecuaciones de estimación de correlación que se muestran a continuación:

Formula:

$$R^2 = \left(\frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x \cdot S_y}} \right)^2 \quad \text{ECUACIÓN 4}$$

Donde:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n} \quad \text{ECUACIÓN 5}$$

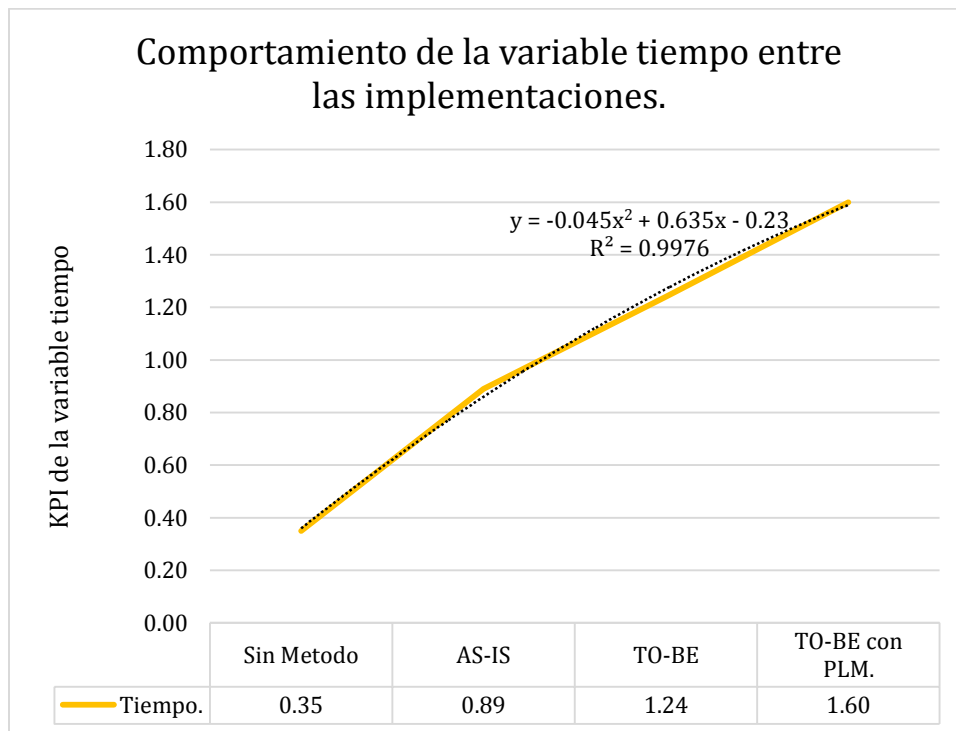
$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}$$

ECUACIÓN 6

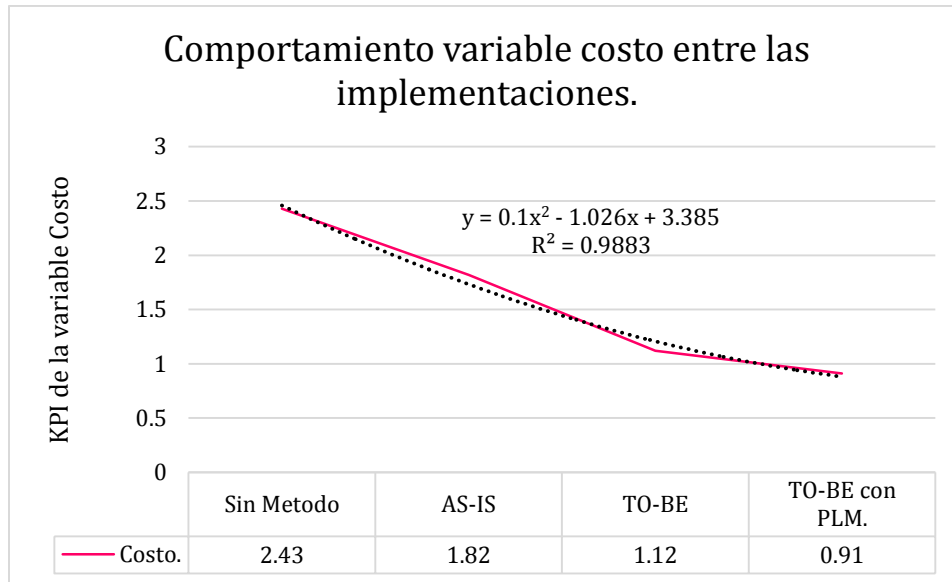
$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$$

ECUACIÓN 7

En el caso de la variable tiempo se obtiene una ecuación polinómica de segundo orden que explica en un 99% el comportamiento de crecimiento de la variable tiempo entre cada una de las implementaciones, estableciendo la existencia de una relación entre esas dos.



Un comportamiento similar se observa en la variable costo, la cual cuenta con un coeficiente de correlación del 98.83%, indicando que las implementaciones han logrado influencia no solo en el KPI de la variable tiempo, sino además en las mediciones de la variable costo.



8.2 Respuesta a las preguntas de Investigación.

Este capítulo provee respuestas cortas a las preguntas de investigación detalladas en el capítulo 1.

Pregunta 1: ¿Qué actividades y procesos están involucradas en los proyectos de diseño y fabricación de máquinas?

Respuesta: Esta respuesta puede ser encontrada en los capítulos donde se desarrollan los modelos para diseño y fabricación de máquinas. Allí se pueden encontrar los modelos para proyectos de ciclo de vida predictivo y ciclo de vida adaptativo. Para ambos se detallan procesos, roles, actividades, secuencia, entregables e interacciones entre las áreas.

Pregunta 2: ¿Qué información es necesaria para llevar a cabo las actividades y procesos involucrados en proyectos de diseño y fabricación de máquinas de control numérico, es decir que lograr, como lograrlo y por qué lograrlo?

Respuesta: Esta respuesta puede ser encontrada en los modelos de BPM del proceso, en estos se detallan los entregables y los contenidos que deben estar inscritos en ellos. De manera parcial, también se puede encontrar esta respuesta en los formatos e instructivos de proceso.

Pregunta 3: ¿Cuáles son los indicadores clave de rendimiento/*key performance indicators* (KPI por sus siglas en inglés) que deben ser utilizados en un proyecto?

Respuesta: Esta información es ampliamente difundida en medios electrónicos. Sin embargo, ha resultado especialmente útil los avances que han realizado sobre el tema de indicadores de rendimiento en el Project Management Institute y en el ámbito local, en la ciudad de Medellín con los trabajos de grado de maestría en ingeniería. En especial los aportes de Villa (2015) detallan un método para definición de los mismos.

Pregunta 4: ¿En la industria existen indicadores previamente estudiados, definidos, verificados y validados para el tipo específico de proyectos que se está abordando?

Respuesta: Si bien para el tipo específico esto no se menciona de manera explícita, en la industria existen indicadores definidos de manera general que han sido validados a través de encuestas con las compañías del sector industrial. Los soportes de estas investigaciones y consultas pueden ser validados en la obra de Villa (2015), Project Management Institute (2013), Barone (2011), Center of business practices (2005).

Pregunta 5: ¿Existen en el mercado herramientas previamente desarrolladas de que permitan soportar el ciclo de vida de producto?

Respuesta: Esta respuesta puede ser encontrada en el estado del arte del presente escrito. Allí se encuentra la descripción de herramientas y sus principales características.

Pregunta 6: ¿Cómo pueden ser utilizados los conceptos comunes, el marco de fundamentación del PMI y los sistemas de información de PLM para lograr una integración que permita la gestión de un proyecto de máquinas?

Respuesta: Los conceptos del PMI y de PLM pueden ser utilizados para lograr la gestión de proyectos de máquinas en la medida en que ambos constituyan un lenguaje común para la colaboración, gestión de la información y alineación para el alcance de los objetivos dentro del proyecto. El sistema de PLM proveerá información de gestión, modelos, productos, ensambles y documentos en tiempo real mientras que, el marco de fundamentación del PMI establecerá acuerdos de trabajo, de comunicación y alineación entre los equipos de proyectos y los grupos de interesados permitiendo al final una mayor interrelación con la máquina que es desarrollada.

Pregunta 7: ¿Cuáles son los resultados de la implementación utilizando los KPI definidos para los proyectos en un entorno controlado?

Respuesta: Esta respuesta puede ser encontrada en la sección “análisis de resultados” del presente escrito. Allí se consignan todos los registros de los KPI en la población de proyectos que fue objeto de la investigación.

Pregunta 8: ¿Cuál es el próximo paso a seguir si se quisiera mejorar el proceso y que tendencias se observan en el mercado?

Respuesta: Con la experiencia obtenida durante esta investigación además del corpus del programa de maestría en ingeniería, se observan grandes posibilidades en con las integraciones de tecnologías de BPM, BI, ERP y PLM para mejorar los procesos inmersos en la presente tesis. Lo anterior se justifica en las dificultades que tiene el PLM para operar como motor de decisiones y reglas de negocio. Si bien, el PLMS es sustancial para garantizar trazabilidad, este último es incapaz de tomar decisiones automáticas basadas en parámetros. Parte de las revisiones e inspecciones pueden ser desarrolladas en el software de BPMS disminuyendo la operatividad de las mismas y enfocando al recurso humano a las tareas que verdaderamente requieren de su intervención. En suma, las soluciones de BI integradas al ERP, BPMS y al PLMS podrán brindar un monitoreo en tiempo real e integral, estableciendo diferentes métricas del rendimiento transversal de la compañía a fin de permitir la identificación de amenazas, oportunidades, debilidades y fortalezas teniendo una vista de 360 grados de la organización.

Otro punto importante señalado por diferentes autores es que el próximo paso el ligar la administración del conocimiento (KM- del ingles- Knowledge Management) a través de ALM/PLM a la realidad del negocio a fin de tener respuestas más oportunas en el desarrollo de nuevos servicios y productos(Vezzetti et al., 2015). Este último punto, también resulta especialmente interesante para el campo de la administración de operaciones (MOM- del ingles - Manufacturing operation management) dado que las operaciones podrán ser apalancadas por el conocimiento resguardado en los sistemas de PLM (Ebert, 2013).

9.1 Discusión acerca de las preguntas de investigación.

Tal como se puede inferir en la revisión de este texto, las preguntas de investigación están directamente relacionadas con los objetivos de la misma que a su vez respaldan lo expuesto en la visión, estructurando así la trazabilidad de la información contenida en el presente proyecto. Esto significa entonces que, 1. Las preguntas de investigación cubren en desde una visión de alto nivel un amplio espectro de los ítems relevantes en el tema de implementación de PLM para un proceso de gestión bajo este enfoque, 2. Las respuestas a las preguntas de investigación permiten delinear un panorama general de la situación actual que se buscaba definir desde la visión, 3. A pesar de lo anterior, en esta investigación no se cubren todos los detalles que necesitan ser resueltos si se busca la escalabilidad de los resultados en otras regiones.

Esto último se debe a que un gran factor de éxito en las implementaciones obedece a la capacidad de cambio que tiene la organización que desea implementar nuevas tecnologías, la capacidad de gestión del cambio dentro de la misma, la cultura organizacional y su capacidad de innovación (Navas et al., 2015; Soto-Acosta et al., 2016). Estos últimos aspectos trazan aspectos que pueden ser trabajados en futuras investigaciones.

9.2 Discusión acerca de la gestión de fabricación con fundamentación del PMI en tecnologías de PLM.

En el entorno productivo actual, características como el crecimiento de costos, escasos de mano de obra especializada, tiempos para lanzamientos reducidos (time to market) y el distanciamiento entre la empresa y sus mercados debido a la globalización, ha llevado a los equipos de ingeniería a mejorar su conocimiento y desempeño, despertando interés en las organizaciones por tener una gestión de proyectos altamente eficiente. La presente investigación entiende que este problema no es puntual y que requiere un enfoque sistémico. dada esta situación, se ha logrado establecer una metodología de trabajo claro en el que los entregables y roles están plenamente definidos para garantizar la continuidad de los procesos llevándola a la consecución de resultados.

Sin embargo, las tecnologías involucradas, métodos y procesos no pueden reemplazar la interacción humana. Es decir, todos los productos, procesos, metodologías de modelamiento y en especial el conocimiento no puede ser completamente codificado vía BPM/PLM/ALM. El contacto personal y la cercanía entre los equipos de trabajo, constituyen factores clave en el

desarrollo de proyectos en la medida en la que consiguen resultados en conjunto para las organizaciones. Este último hecho, abre un gran camino para investigaciones futuras en las cuales se focalice la gestión de la organización hacia la alineación de objetivos estratégicos e indicadores de rendimiento (KPI's) ligados a la forma como se ejecutan y se monitorean procesos administrativos, procesos de desarrollo, equipos de proyectos y líneas de operación de productos y servicios, todos estos últimos soportados de sistemas de información, de ser posible hasta los niveles más atómicos de la organización.

En un entorno cambiante y altamente competitivo, para la mayoría de compañías resulta crucial el desempeño de los proyectos de desarrollo de nuevos productos y servicios, además del mantenimiento de los productos que han sido lanzados con anterioridad. La primera conclusión de PLM como estrategia es que esta compromete métodos, procesos, buenas prácticas y sistemas de información a disposición del logro de los objetivos de la organización, garantizando trazabilidad de los productos desde su concepción hasta su distribución y disminución de costos sin poner en riesgo la calidad del producto.

Sin embargo, si no se tienen métodos claros y herramientas o sistemas de información que ayuden a soportar los procesos de desarrollo de productos, la empresa se verá tarde que temprano en una situación de complejidad tan alta que no será capaz de soportar el crecimiento de su negocio. Disminuir los tiempos de ciclo, vacíos en la comunicación, en los diseños, en la ejecución y fabricación a la vez que se mejoran e incrementan los patrones de calidad y la alineación de procesos hacia la consecución de objetivos estratégicos, son puntos en los que el PLM ha probado ser una solución altamente efectiva y no trivial a esta problemática.

Si bien, cada vez se enfoca a la industria a producir, desarrollar y distribuir productos cada vez más complejos. No es solo en el desarrollo mismo de la idea donde se presenta el mayor foco de complejidad, a través de la investigación se observa que el nivel de complejidad crece en la medida en que se involucran diferentes herramientas, metodologías y sistemas no homologados que dificultan los niveles más básicos de comunicación e información. Incrementos de la eficiencia, reducción de costos, menor cantidad de reprocesamiento y velocidad de producción de entregables, ha sido evidenciada con el uso de PLM y para el presente caso el enfoque integrador y de transferencia de conocimiento dado con BPM.

La problemática acerca del: “¿qué hacer?”, “¿En qué momento?”, Y “¿Con que herramientas?”, es solucionada a través de flujos de trabajo que establezcan roles y momentos de ejecución para las tareas y procesos de forma secuencial o iterativa, Incrementando la productividad misma de la interacción de procesos de ingeniería a la vez que reduce la incertidumbre de los resultados de proyectos. Sin embargo, se observa a través del levantamiento del estado del arte que el campo del uso de TIC's en un enfoque integrador para el ámbito local y regional es aún un territorio inexplorado para las organizaciones. En especial llama la atención que Colombia teniendo una considerable capacidad industrial sea el tercer país de la región sur américa en uso intensivo de PLM.

La trazabilidad de la información y su custodia en el sistema de información permiten conservar el 100% de la documentación de los proyectos, teniendo como resultado adicional de las implementaciones, la construcción de una “base de conocimiento” en el cual reposan las diferentes experiencias documentadas de los equipos, a la vez que los resultados de las acciones emprendidas en la solución de problemas y mitigación de riesgos.

Las métricas de desempeño de proyectos, ligados a los objetivos básicos de los mismos, definidos de una manera clara en cuanto a su definición, interpretación y forma de medición facilita el modo en que los procesos pueden ser medidos. Evitar la definición de indicadores repetitivos, que se calculen con las mismas variables e indiquen comportamientos diferentes es clave para evitar la confusión para la comunicación al interior de la organización. Frente a este hecho, esta investigación es clara en que se han logrado eficiencias medidas de manera integral las cuales permiten indicar de manera contundente, clara y concisa las mejoras entre las etapas de implementación.

PLM permite tomar decisiones basadas en la realidad de lo proyectado por el ciclo de vida del producto, entendiendo la complejidad de los requerimientos, costos inmersos en el desarrollo de productos y capacidad de mejora en los procesos de ingeniería, Brindando la posibilidad de tomar decisiones basados en datos en tiempo real arrojados por distintas áreas de la organización, facilitando la capacidad de transmisión de hallazgos entre las diferentes áreas formando un marco común de comunicación entre usuarios y desarrolladores. Al final este hecho se transforma en eficiencias transversales mayores al 38% frente a la situación inicial.

Por otra parte, es importante entender que el PLM por sí solo no es la solución a toda la problemática de la organización. La gestión por procesos y la medición de los mismos de manera transversal es el primer paso para entender la situación inicial de la misma, se debe entender que con fallas y deficiencias no es posible competir en calidad, precio y mucho menos en tiempos de entrega. En adición a esto, el estudio de variables de proceso en un enfoque puramente estadístico, podrá ayudar a determinar cuáles serán las variables críticas que sugieren cambios de mayor impacto en los indicadores clave de rendimiento y su correlación.

Para reconocer este hecho, la organización debe ser preparada y gestionada para el cambio y la transformación continúa apoyándose en tecnología, que para este caso concreto se focaliza en sistemas de información de PLM. Si bien los PLMS sirven de soporte a la operación de los procesos de ingeniería, se debe interiorizar que hasta el momento ningún paquete de PLMS contiene soluciones empresariales como ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relationship Management) y SCM

(Supply Chain Management), basada fundamentalmente en logística (Metal Actual, 2014). En la presente investigación, las prácticas de PLM han podido ser exitosas en gran medida porque han estado acompañados de una fuerte gestión del cambio, la cual reforzó y encaminó las acciones hacia el logro sostenido de metas.

El futuro del mismo además de lo anterior, estará entonces en ayudar a gestionar la transferencia y gestión del conocimiento manteniendo la estrategia y a la organización alineada. Esto significa, partir de los requerimientos y más allá de la solución de los mismos, partir de conceptos de manufactura que desemboquen en conceptos de usabilidad. Esto implica, pensar no solo en las ventajas al interior de la organización sino, además, pensar en los beneficios que obtendrán los usuarios finales y la sociedad. De ser esto logrado, el crecimiento de la compañía desde sus procesos core de desarrollo e innovación será impulsado hacia una versión sostenible con responsabilidad social. Responsabilidad social, que hoy hace parte fundamental del interés de los mercados globalizados.

En conclusión, el enfoque hacia la gestión de proyectos de manufactura con PLM ha brindado información relevante que permite identificar su gran potencial para la resolución y consecución de resultados en situaciones de desarrollo de nuevos productos. Sin embargo, el campo de aplicación y el futuro de la investigación de aplicación del PLM podrá aclarar el panorama cuando este se transforma en uno de los impulsores de la integración de los objetivos estratégicos, procesos de innovación, procesos de ingeniería, líneas de producto y equipos de proyectos, formando relaciones recíprocas con tópicos que no se pueden codificar en el sistema de información pero que hacen parte del entorno organizacional, como: Team Management (TM), Knowledge Management (KM), manufacturing operation Management (MOM), Business process Management (BPM), Project Management (PJ), Innovation & development management (I+D).

- Agudelo Tobón, L. F., & Escobar Bolívar, J. (2010). *Gestión por Procesos*. ICONTEC.
- Alemanni, M., Alessia, G., Tornincasa, S., & Vezzetti, E. (2008). Key performance indicators for PLM benefits evaluation: The Alcatel Alenia Space case study. *Computers in Industry*, 59(8), 833–841. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2008.06.003>
- Alemanni, M., Destefanis, F., & Vezzetti, E. (2010). Model-based definition design in the product lifecycle management scenario. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1–4), 1–14. <http://doi.org/10.1007/s00170-010-2699-y>
- Al-Timimi, K., & Mackrell, J. (1996). *Step: Towards Open Systems: Step Fundamentals & Business Benefits*. Ann Arbor, Mich., USA: Cimdata Inc.
- ARAS CORP. (2016). Documentation | Advanced PLM Software | Enterprise Open Source | Aras. Recuperado a partir de <https://www.aras.com/support/Documentation/>
- Arkilic, I. G., Reijers, H. A., & Goverde, R. R. H. M. J. (2012). How Good Is an AS-IS Model Really? En M. L. Rosa & P. Soffer (Eds.), *Business Process Management Workshops* (pp. 89–100). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com.ezproxy.eafit.edu.co/chapter/10.1007/978-3-642-36285-9_11
- Barone, D., Jiang, L., Amyot, D., & Mylopoulos, J. (2011). Reasoning with Key Performance Indicators. En P. Johannesson, J. Krogstie, & A. L. Opdahl (Eds.),

The Practice of Enterprise Modeling (pp. 82–96). Springer Berlin Heidelberg.

Recuperado a partir de http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-24849-8_7

Bizagi. (2016). Bizagi BPM Suite User's Guide. Recuperado el 11 de julio de 2016, a partir de <http://help.bizagi.com/bpmsuite/es/>

Bokinge, M., & Malmqvist, J. (2012). PLM implementation guidelines – relevance and application in practice: a discussion of findings from a retrospective case study. *International Journal of Product Lifecycle Management*. Recuperado a partir de <http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJPLM.2012.046442>

Bonnal, P., Gourc, D., & Lacoste, G. (2002). The life cycle of technical projects. *Project Management Journal*, 33(1), 12–19.

Bouikni, N., Rivest, L., & Desrochers, A. (2008). A Multiple Views Management System for Concurrent Engineering and PLM. *Concurrent Engineering*, 16(1), 61–72. <http://doi.org/10.1177/1063293X07084641>

Brandenburg, L. (2016). How to Analyze an “As Is” Business Process. Recuperado el 2 de mayo de 2016, a partir de <http://www.bridging-the-gap.com/as-is-business-process/>

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

- Brocke, J. vom, Zelt, S., & Schmiedel, T. (2016). On the role of context in business process management. *International Journal of Information Management*, 36(3), 486–495. <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.10.002>
- Castela, N., Zacarias, M., & Tribolet, J. (2011). PROASIS: As-Is Business Process Model Maintenance. En F. Harmsen, K. Grahlmann, & E. Proper (Eds.), *Practice-Driven Research on Enterprise Transformation* (pp. 53–82). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com.ezproxy.eafit.edu.co/chapter/10.1007/978-3-642-23388-3_3
- Castillo, C., & Lorenzana, T. (2010). Evaluation of business scenarios by means of composite indicators. *business scenarios by means of composite indicators. Fuzzy Economic Review*, 15, 3–20.
- Center of business practices, C. (2005). *Measures of Project Management Performance and Value. A BENCHMARK OF CURRENT BUSINESS PRACTICES*. CENTER FOR BUSINESS PRACTICES. Recuperado a partir de WWW.CBPONLINE.COM
- Christopher, M. (1998). *Logistics and Supply Chain Management* (2 edition). London: Financial Times Prentice Hall.
- CIMdata inc. (2010, junio). Teamcenter. Recuperado el 12 de marzo de 2016, a partir de https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/21848_tcm1023-100227.pdf
- CIMdata inc. (2015a, marzo 25). YuniquePLM Streamlines Processes for High-end Fashion Brand V•Grass - CIMdata. Recuperado el 20 de febrero de 2016, a

partir de <http://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/3749-yuniqueplm-streamlines-processes-for-high-end-fashion-brand-v-grass>

CIMdata inc. (2015b, octubre 15). General Motors' Dr. Ulrike Warnecke to Present at CIMdata's PLM Road Map for the Global Automotive Industry - CIMdata. Recuperado el 20 de febrero de 2016, a partir de <http://www.cimdata.com/en/news/item/4982-general-motors-ulrike-warnecke-to-present-at-cimdata-s-plm-road-map-for-the-global-automotive-industry>

CIMdata inc. (2016, enero 26). Innovation in Medical Devices—From Starships to Biomicroelectronics to Cure Blindness - CIMdata. Recuperado el 20 de febrero de 2016, a partir de <http://www.cimdata.com/en/industry-summary-articles/item/5499-innovation-in-medical-devices-from-starships-to-biomicroelectronics-to-cure-blindness>

Corallo, A., Lazoi, M., Margarito, A., & Pinna, D. (2013). Developing a PLM Framework: A Case Study Application in an Energy Company. En A. Bernard, L. Rivest, & D. Dutta (Eds.), *Product Lifecycle Management for Society* (pp. 149–158). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com.ezproxy.eafit.edu.co/chapter/10.1007/978-3-642-41501-2_16

Cugini, U., Ramelli, A., Rizzi, C., & Ugolotti, M. (2006). Total Quality Management and Process Modeling for PLM in SME. En H. A. E. Bs. FCSME MEng., PEng, FSME &

- W. H. E. Bs. FCSME MEng., PEng, FASME (Eds.), *Advances in Design* (pp. 339–350). Springer London.
- Danesi, F., Gardan, N., Gardan, Y., & Reimeringer, M. (2008). P4LM: A methodology for product lifecycle management. *Computers in Industry*, 59(2–3), 304–317. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2007.06.013>
- Danfang, C. (2012). *Information Management for Factory Planning and Design*. Stockholm, Sweden.
- Dingsøyr, T., Nerur, S., Balijepally, V., & Moe, N. B. (2012). A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development. *Journal of Systems and Software*, 85(6), 1213–1221. <http://doi.org/10.1016/j.jss.2012.02.033>
- Ducellier, G., Yvars, P.-A., & Eynard, B. (2014). Managing design change order in a PLM platform using a CSP approach. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 8(3), 151–158. <http://doi.org/10.1007/s12008-014-0213-8>
- Ebert, C. (2013). Improving engineering efficiency with PLM/ALM. *Software & Systems Modeling*, 12(3), 443–449. <http://doi.org/10.1007/s10270-013-0347-3>
- Ebert, C., & Man, J. D. (2008). Effectively utilizing project, product and process knowledge. *Information and Software Technology*, 50(6), 579–594. <http://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.06.007>
- Echeverri Cartagena, C. M. (2013). *Metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto*

- (PLM) [recurso electrónico]. Recuperado a partir de <http://repository.eafit.edu.co:80/handle/10784/1274>
- Fernandes, G., Ward, S., & Araújo, M. (2015). Improving and embedding project management practice in organisations — A qualitative study. *International Journal of Project Management*, 33(5), 1052–1067. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.012>
- Freund-Ruecker-Hitpass, & Hitpass, J. F., Bernd Rucker, Bernhard. (2013). *BPMN 2.0 Manual de Referencia y Guía Práctica*. Bernhard Hitpass.
- García, J. M. M. (2008). *Apuntes de diseño de máquinas*. Editorial Club Universitario.
- Garetti, M., Terzi, S., Bertacci, N., & Brianza, M. (2005). Organisational change and knowledge management in PLM implementation. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(1), 43. <http://doi.org/10.1504/IJPLM.2005.007344>
- Grieser, D.-K. L., & Wilde, P. D. K. D. (2010). Adaptive Right-Time Technologies in Customer Relationship Management. *Business & Information Systems Engineering*, 2(1), 41–44. <http://doi.org/10.1007/s12599-009-0084-x>
- Grieves, M. (2005). *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking* (1 edition). New York: McGraw-Hill Education.
- Hester, P., & Adams, K. (2014). *Systemic Thinking, Fundamentals for Understanding Problems and Messes* (Vol. 26). Springer International Publishing.
- Ibert, O. (2004). Projects and firms as discordant complements: organisational learning in the Munich software ecology. *Research Policy*, 33(10), 1529–1546. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2004.08.010>

- Issar, G., & Navon, L. R. (2016). *Key Performances Indicators (KPI)*. Springer International Publishing. Recuperado a partir de http://link.springer.com.ezproxy.eafit.edu.co/chapter/10.1007/978-3-319-20699-8_17
- Kerzner, H. R. (2013). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Recuperado el 20 de febrero de 2016, a partir de <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118022270.html>
- Klaus, H., Rosemann, M., & Gable, G. G. (2000). What is ERP? *Information Systems Frontiers*, 2(2), 141–162. <http://doi.org/10.1023/A:1026543906354>
- Labuschagne, C., & Brent, A. C. (2005). Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. *International Journal of Project Management*, 23(2), 159–168. <http://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.06.003>
- Lee, B., & Miller, J. (2004). Multi-Project Management in Software Engineering Using Simulation Modelling. *Software Quality Journal*, 12(1), 59–82. <http://doi.org/10.1023/B:SQJO.0000013359.71560.47>
- Li, S.-H., Chen, J.-L., Yen, D. C., & Lin, Y.-H. (2013). Investigation on auditing principles and rules for PDM/PLM system implementation. *Computers in Industry*, 64(6), 741–753. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2013.04.007>
- Li, Y., Wan, L., & Xiong, T. (2011). Product data model for PLM system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9–12), 1149–1158. <http://doi.org/10.1007/s00170-010-3130-4>

- Lowson, R. H., & Burgess, N. J. (2002). Supply network strategies and supply chain management for e-business. *Operational Research*, 2(1), 55–70. <http://doi.org/10.1007/BF02940121>
- Lu, S. C.-Y., Elmaraghy, W., Schuh, G., & Wilhelm, R. (2007). A SCIENTIFIC FOUNDATION OF COLLABORATIVE ENGINEERING. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 56(2), 605–634. <http://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.10.010>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.595>
- Mas, F., Menendez, J. L., Oliva, M., Rios, J., Gomez, A., & Olmos, V. (2014). iDMU as the Collaborative Engineering engine: Research experiences in Airbus. En *2014 International ICE Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE)* (pp. 1–7). <http://doi.org/10.1109/ICE.2014.6871594>
- Metal Actual. (2014, enero). El Universo del PLM: Los Productos También Nacen, Crecen y Mueren. Recuperado el 29 de marzo de 2016, a partir de http://www.metalactual.com/revista/30/automatizacion_plm.pdf
- Ming, X. G., Yan, J. Q., Lu, W. F., & Ma, D. Z. (2005). Technology Solutions for Collaborative Product Lifecycle Management – Status Review and Future Trend. *Concurrent Engineering*, 13(4), 311–319. <http://doi.org/10.1177/1063293X05060135>
- Monteleone, M. (2010, noviembre). Structuring AS-IS and TO-BE Process Improvement Discussions using the Fishbone Diagram > Business Analyst

Community & Resources | Modern Analyst. Recuperado el 24 de abril de 2016,
a partir de
[http://www.modernanalyst.com/Resources/Articles/tabid/115/articleType/
ArticleView/articleId/1562/Structuring-ASIS-and-TOBE-Process-
Improvement-Discussions-using-the-Fishbone-Diagram.aspx](http://www.modernanalyst.com/Resources/Articles/tabid/115/articleType/ArticleView/articleId/1562/Structuring-ASIS-and-TOBE-Process-Improvement-Discussions-using-the-Fishbone-Diagram.aspx)

Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Educación.

Mulcahy, R. (2015). *PMP Exam Prep, Eighth Edition - Updated: Rita's Course in a Book for Passing the PMP Exam* (Eighth edition). S.l.: RMC Publications.

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

Navas, H. V. G., Tenera, A. M. B. R., & Machado, V. A. C. (2015). Integrating TRIZ in Project Management Processes: An ARIZ Contribution. *Procedia Engineering*, 131, 224–231. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.381>

Nosenzo, V., Tornincasa, S., Bonisoli, E., & Brino, M. (2013). Open questions on Product Lifecycle Management (PLM) with CAD /CAE integration. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 8(2), 91–107. <http://doi.org/10.1007/s12008-013-0184-1>

Nyqvist, O. (2008). *Information Management for Cutting Tools, Doctoral Thesis*. Stockholm: Royal Institute of Technology.

Pintzos, G., Matsas, M., & Chryssolouris, G. (2012). Defining Manufacturing Performance Indicators Using Semantic Ontology Representation. *Procedia CIRP*, 3, 8–13. <http://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.003>

- Prasad, B. (1996). *Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Products and Proc Org* (1 edition). Upper Saddle River, N.J: CRC.
- Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía del PMBOK*. Newtown Square, Pensilvania.
- Qiu, Z. M., Kok, K. F., Wong, Y. S., & Fuh, J. Y. H. (2007). Role-based 3D visualisation for asynchronous PLM collaboration. *Computers in Industry*, 58(8-9), 747-755. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2007.02.006>
- Rahimi, F., Møller, C., & Hvam, L. (2016). Business process management and IT management: The missing integration. *International Journal of Information Management*, 36(1), 142-154. <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.10.004>
- Rohloff, M. (2010). Advances in business process management implementation based on a maturity assessment and best practice exchange. *Information Systems and E-Business Management*, 9(3), 383-403. <http://doi.org/10.1007/s10257-010-0137-1>
- Ruiz Arenas, S. (2012). Methodology for PLM implementations.
- Salonen, N. V. (2013). PLM and Classification Society Management in Marine Manufacturing Companies. En A. Bernard, L. Rivest, & D. Dutta (Eds.), *Product Lifecycle Management for Society* (pp. 194-209). Springer Berlin Heidelberg. Recuperado a partir de http://link.springer.com.ezproxy.eafit.edu.co/chapter/10.1007/978-3-642-41501-2_20

- Schweyer, B., & Haurat, A. (1997). Information system design using a project approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(1), 15–29.
<http://doi.org/10.1023/A:1018536216561>
- 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.
<http://doi.org/10.1016/j.compind.2014.08.002>
- Selmeci, A., Orosz, I., Györök, G., & Orosz, T. (2012). Key Performance Indicators used in ERP performance measurement applications. *IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems & Informatics*.
- Sohlenius, G. (1992). Concurrent Engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 41(2), 645–655. [http://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63251-X](http://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63251-X)
- Sohlenius, G. (2000). *The Manufacturing System: Our Motor of Welfare*. Recuperado a partir de <https://books.google.com.co/books?id=wubgtgAACAAJ>
- Soto-Acosta, P., Placer-Maruri, E., & Perez-Gonzalez, D. (2016). A case analysis of a product lifecycle information management framework for SMEs. *International Journal of Information Management*, 36(2), 240–244.
<http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2015.12.001>
- Soto-Acosta, P., Popa, S., & Palacios-Marqués, D. (2015). E-business, organizational innovation and firm performance in manufacturing SMEs: an empirical study in Spain. *Technological and Economic Development of Economy*, 0(0), 1–20.
<http://doi.org/10.3846/20294913.2015.1074126>

- Vezzetti, E., Alemanni, M., & Macheda, J. (2015). Supporting product development in the textile industry through the use of a product lifecycle management approach: a preliminary set of guidelines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(9–12), 1493–1504. <http://doi.org/10.1007/s00170-015-6926-4>
- Vezzetti, E., Violante, M. G., & Marcolin, F. (2014). A benchmarking framework for product lifecycle management (PLM) maturity models. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(5–8), 899–918. <http://doi.org/10.1007/s00170-013-5529-1>
- Villa, H. (2015). *Un Método para la Definición de Indicadores Clave de Rendimiento con base en Objetivos de Mejoramiento / An Improvement-goal-based method for defining Key Performance Indicators*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Violante, M. G., & Vezzetti, E. (2014). A methodology for supporting requirement management tools (RMt) design in the PLM scenario: An user-based strategy. *Computers in Industry*, 65(7), 1065–1075. <http://doi.org/10.1016/j.compind.2014.05.001>
- Winner, R. I., Pennell, J. P., Bertrand, H. E., & Slusarczyk, M. M. (1988). *The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition*.
- Xu, Z., Ming, X. G., Song, W., He, L., & Li, M. (2012). Collaborative Project Management: A Systemic Approach to Heavy Equipment Manufacturing Project Management. *Systemic Practice and Action Research*, 27(2), 141–164. <http://doi.org/10.1007/s11213-012-9261-9>

12.1 Estado del arte del Product lifecycle management.

PAPER A: Technologies for manufacturing: Product Lifecycle Management approaches in Colombia.

12.2 Fabricación de máquinas con método AS- IS

PAPER B: Diseño y fabricación de aerogeneradores en proyectos académicos de ingeniería de producción bajo el marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI).

12.3 Fabricación de máquinas con método TO- BE

PAPER C: Aplicación del marco de fundamentación del Project Management Institute (PMI) para la asignatura Proyecto de Elementos de Máquinas y Equipos.

PAPER D: Diseño y fabricación de máquinas con enfoque PLM: Caso de estudio máquinas de mecanizado CNC en la facultad de ingeniería.

12.4 Fabricación de máquinas con fundamentación PMI en sistemas de información PLM

PAPER E: Implementación de metodología de mantenimiento de moldes de inyección apoyada en herramientas de gestión de ciclo de vida del producto (PLMS).