

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PRODUCTOS Y PROCESOS



ITESO

Universidad Jesuita
de Guadalajara

Sistema para el desarrollo de componentes mecánicos soportado por análisis grafos

Tesis que para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería de Productos y Procesos

Presentan: Salvador Magallanes Luna

Tutor: David Manuel Ochoa González

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. Diciembre de 2021.

Tabla de contenidos

Agradecimientos	5
Resumen	6
Abstract	7
1. Fundamentación del trabajo.....	8
1.1. Identificación y caracterización del problema a atender	8
1.2. Contexto de la propuesta de intervención	10
1.2.1. Contexto de la empresa	10
1.2.2. Contexto de la industria.....	13
1.2.3. Análisis causa-efecto.....	15
1.2.4. Matriz de marco lógico del problema.....	16
1.3. Objetivos de la intervención	17
1.4. Delimitaciones y área funcional a intervenir	17
1.5. Justificación y pertinencia del trabajo	18
1.5.1. Equipo Mecánico R&D como gestor de la información.....	22
1.5.2. Sensibilidad del proceso a cambios	22
1.5.3. Interconectividad limitada en el proceso	23
1.5.4. Información de referencia para diseño	23
2. Marco conceptual o de referencia	25
2.1. Estado de la cuestión	25
2.1.1. Sistema y Herramientas	25
2.1.2. Relación entre herramientas	27
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados	28
2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo	29
3. Estrategia metodológica o de intervención	32
3.1. Justificación de la estrategia metodológica o de intervención	32
3.1.1. Prueba de concepto 1: Evaluación del uso de paquetes de información a nivel característica	32
3.1.2. Prueba de concepto 2: Alcances de Windchill PDMLink para almacenaje de información	33

3.1.3. Prueba de concepto 3: Propuesta de sistema de grafos para navegación y visualización de la información en múltiples sistemas	34
3.1.4. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia	35
3.2. Herramientas e instrumentos	35
3.3. Muestra o sujetos de investigación	38
3.4. Etapas del proceso de aplicación/intervención	39
3.4.1. Etapa 1: Antecedentes	39
3.4.2. Etapa 2: Desarrollo de pruebas de concepto 1 y 2	43
3.4.3. Etapa 3: Reporte de resultados pruebas de concepto 1 y 2	43
3.4.4. Etapa 4: Desarrollo de prueba de concepto 3	44
3.4.5. Etapa 5: Reporte de resultados pruebas de concepto 3	46
3.4.6. Cronograma de trabajo	47
3.4.5. Imprevistos	48
3.5. Metas de información	49
4. Exposición de hallazgos	50
4.1. Sistematización y aplicación de escalas de medición	50
4.2. Organización de la información obtenida	51
4.2.1. Resultados obtenidos de la prueba de conceto 1	52
4.2.2. Resultados obtenidos de la prueba de concepto 2	60
4.2.3. Resultados obtenidos de la prueba de concepto 3	64
4.3. Impacto de la estrategia en la solución del problema	68
4.3.1. Alineación con la estrategia general de la organización	69
5. Discusión final	70
5.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación	70
5.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes	71
5.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso	71
Referencias bibliográficas	74
índice de figuras	77
Índice de tablas	78

Índice de siglas..... 79

Agradecimientos

A mis docentes y en especial a mi tutor David Manuel Ochoa Gonzalez por su ayuda, paciencia y dedicación. Agradecerle a mi esposa por apoyarme y motivarme en todo momento, y a toda mi familia por darme ánimo durante este proceso.

También quiero agradecer a “Continental Automotive” por apoyarme y a todos mis compañeros que me estuvieron ayudando durante este proceso.

Resumen

La industria automotriz se encuentra en una etapa de cambios y junto con ella sus procesos. En la actualidad, el proceso de desarrollo de productos, en el ámbito de ingeniería mecánica, requiere el análisis de una gran cantidad de información (especificaciones, normas, pruebas, validaciones, historiales, etc.) indispensable para el diseño del producto. Además, el mercado demanda tiempos de desarrollo cada vez más cortos. En este escenario, la gestión de la información se vuelve una necesidad en sí misma. En este trabajo se presenta una propuesta de un sistema estructurado de organización de la información para el desarrollo de productos que permite la interconectividad entre proyectos, plataformas, grupos y disciplinas, logrando accesibilidad a la información a cualquier nivel de diseño y adaptabilidad del sistema, agilizando así la toma de decisiones y el reúso de la información. Como componentes de este sistema se presentan tres pruebas de concepto: en la primera se muestra cuantitativamente el valor que tiene el reúso de la información dentro del desarrollo de producto, utilizando un diseño de experimentos como herramienta de prueba; en la segunda se presenta una propuesta de interconectividad de la información de desarrollo de producto, que da como resultado una base de datos estructurada; finalmente, la tercera toma esta base estructurada como pilar y la liga con las bases de datos alimentadoras mediante el uso de grafos, dando como resultado una interconectividad total del diseño mecánico con toda información que pueda aportar valor, permitiéndole al usuario visualizar las conexiones de la información e identificar el tipo de relación que tienen, facilitando su análisis y funcionando como una herramienta para la toma de decisiones. Estas tres propuestas, en su conjunto, dan como resultado un sistema para desarrollo de producto interconectado, facilitando el reúso de los recursos, la compilación rápida de información para toma de decisiones y una estructura que permite plantar las bases para minería de datos y *machine learnig*.

Abstract¹

The automotive industry is in a stage of change and along with it its process. Currently, the product development process in the field of mechanical engineering, requires the analysis of a large amount of information (specifications, norms, test, validations, records, etc.) essential for the product design. In addition, the market demands increasingly shorter development times. In this scenario, the information management becomes a necessity on its own. This paper presents a proposal for a structured information organization system for product development that allows the interconnectivity between projects, platforms, groups, and disciplines, achieving accessibility to information at any design level and system adaptability, streamlining decision taking and information reuse. As components of the system, three proofs of concept are presented: the first one quantitatively shows the value of information reuse within product development, using experiment design as test tool; the second presents a proposal for the interconnectivity of product development information, which results in a structured database; finally, the third takes this structured base as a pillar and links it with the feeder databases through the use of graphs, resulting in a total interconnectivity of the mechanical design with all information that can add value, allowing the user to visualize the connections of the information and identify the type of relationship they have, facilitating their analysis and working as a tool for decision making. These three proposals, together results in an interconnected product development system, facilitating the reuse of resources, having fast information compilation for decision making and a structure that allows to lay the foundations for data mining and machine learning.

Palabras clave: Interconectividad; reúso; desarrollo de componentes mecánicos; análisis de grafos.

¹ El resumen también se presenta en inglés en este apartado de *abstract*

1. Fundamentación del trabajo

La industria automotriz se encuentra en una etapa de cambios importantes, donde la competitividad de las empresas participes en la industria (proveedores automotrices) es cada vez mayor y las exigencias de los Productores de Equipo Original (OEM, por sus siglas en ingles) en cuanto a calidad, precio y tiempos de desarrollo también, siendo estos factores cruciales al momento otorgar nuevos proyectos a los proveedores.

En este capítulo se explica la problemática que se tiene en el desarrollo de productos, enfocado en el área de ingeniería mecánica, la situación de la empresa en la que laboro (Continental Automotive) y la situación de la industria en general

1.1. Identificación y caracterización del problema a atender

El proceso de desarrollo de productos dentro de la industria automotriz pide cada vez mayores estándares de calidad y seguridad dentro de sus productos y procesos, junto con tiempos de respuesta más cortos, inclusión de nuevas tecnologías y una necesidad de adaptación cada vez mayor.

En el caso del área de ingeniería mecánica no es la excepción, ya que pertenece al mismo grupo de desarrollo de producto junto con el equipo de software, eléctrico, ingeniería en sistemas, manufactura, laboratorios, calidad y gerencia. Todas estas áreas forman el equipo central.

Así, específicamente para el área de ingeniería mecánica, el proceso de desarrollo conlleva una serie actividades que son las siguientes:

- Análisis de requerimientos y especificaciones (internas y externas).
- Interfaz de componentes eléctricos y mecánicos.
- Diseño / Ajustes y modelado 3D de componentes mecánicos.
- Revisiones de diseño.
- Ensamblajes de producto y creación de especificaciones para manufactura (dibujos de ingeniería).
- Alineaciones con equipo central y con el cliente.
- Manejo de proveedores.
- Soporte para pruebas de validación de diseño y producto.

- Soporte en lanzamiento de producto.
- Soporte a producción durante la vida del producto.

Por la complejidad del proceso, actualmente se requieren un múltiples de iteraciones y tiempo, junto con una gran cantidad de recursos (humanos y técnicos), causando largos tiempos de diseño y desarrollo mecánico

Se estima que el tiempo de diseño y desarrollo de un producto requiere de 1-1.3 años. Adicionalmente, al incluir los procesos de fabricación de instrumentales y validaciones, los tiempos de lanzamiento al mercado son de 2 a 2.5 años.

Durante todo este tiempo se requiere mantener gran cantidad de información actualizada y accesible. Continental cuenta con herramientas que soportan esta actividad como lo son: folders compartidos para un proyecto(s) o grupo(s); páginas internas para acceder a normas, estándares o comunidades; softwares de Gestión del Ciclo de Vida del Producto (PLM, por sus siglas en inglés), integrando también la gestión de datos del producto; herramientas para análisis de requerimientos y diferentes comunidades donde se pueden compartir lecciones aprendidas y/o nuevas propuestas de herramientas.

Cada una de estas herramientas funciona de manera correcta en lo individual o en la disciplina, sin embargo, se tienen algunos problemas cuando se interactúa con diferentes herramientas y disciplinas. Esta situación se complica con el volumen de proyectos (activos o inactivos), diferentes equipos de desarrollo, localidades, rotación de personal y constantes cambios en las necesidades del mercado. A pesar de que se cuenta con la información, todas estas variables mencionadas dificultan su accesibilidad, aumentando así la dependencia en los usuarios sobre el conocimiento de dónde encontrar la información que necesitan.

Actualmente laboro en el área de diseño y desarrollo mecánico de “Continental Automotive Guadalajara”, uno de los principales proveedores en la industria automotriz. Con el objetivo de acortar tiempos de respuesta ante las necesidades del cliente, disminuir los retrabajos de ingeniería, agilizar la curva de aprendizaje de los ingenieros, permitiendo enfocar esfuerzos en la resolución de nuevos problemas o investigación de nuevas tecnologías, resulta crucial buscar la creación nuevos sistemas que sirvan para mejorar la accesibilidad a la información, promoviendo la interconexión entre la

información de entrada (requerimientos), información generada por el área de ingeniería (diseño, validaciones) y la información entregable al cliente (producto final).

Esto puede permitir, también, un impacto económico correspondiente a los costos de ingeniería, mediante la reducción de los tiempos de desarrollo y previniendo la necesidad de prevalidaciones o revalidaciones, aumentando así las probabilidades de obtener nuevos proyectos

Estos sistemas deberán mantener la calidad del producto, cumpliendo en todo momento con los requerimientos de cliente y los lineamientos internos, reforzando la seguridad en nuestros entregables, para seguir desarrollando productos que cumplan las necesidades actuales y futuras de nuestros clientes.

1.2. Contexto de la propuesta de intervención

1.2.1. Contexto de la empresa

El proceso de desarrollo de producto de Continental se basa en la metodología de “PLC: *Product life Cycle*” como el descrito en el “*Nasa System Engineering Handbook*” (NASA, 2007), teniendo así una estructura estándar para el desarrollo de producto desde el estudio de concepto; desarrollo de concepto y tecnologías aplicadas; diseño preliminar y tecnologías finales; diseño final, fabricación e integración; validación de producto; producción y término del producto.

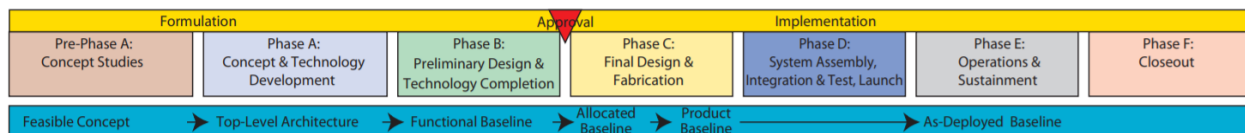


Figura 1: Etapas del "Product Life Cycle"

(NASA, 2007)

Cada disciplina tiene diversas actividades y entregables en las diferentes etapas del proyecto, las cuales se van integrando para tener un paquete completo de información del producto.

Este trabajo se enfoca en las actividades asociadas a la disciplina de ingeniería mecánica, tomando como punto de partida el diseño preliminar y tecnologías finales, ya que es a partir de este punto en donde la mayoría de los integrantes del grupo de ingeniería mecánica tienen injerencia y una participación activa. A partir de esta fase, se crean formalmente los equipos de diseño, que a grosso modo constan de un líder de proyecto, que es el responsable de discusiones con el cliente y organización del equipo de trabajo; un arquitecto mecánico, responsable técnico del diseño del

proyecto; y un(os) desarrollador(es) que soportan con las actividades de diseño de detalle, así como con proveedores. En conjunto llevan la comunicación e interacción con las demás áreas, así como la validación del producto y su lanzamiento a producción.

Actualmente se utilizan diferentes tecnologías que le permiten a los usuarios administrar, almacenar y transmitir la información. Esto va desde un correo electrónico, folders compartidos, hasta softwares capaces de tener control de versiones, historial de cambios y madurez de la pieza/ensamble.

A continuación, se describe en líneas generales el proceso de desarrollo y la manera en la que se interactúa con los distintos paquetes de información en cada etapa:

Después de haber ganado un nuevo proyecto, se genera un nuevo desarrollo y un equipo central (ingeniería de software, ingeniería eléctrica / mecánica, ingeniería en sistemas, manufactura, laboratorios, calidad y gerencia). En el grupo de ingeniería mecánica, el líder de proyecto, con un enfoque administrativo, junto con el arquitecto, con el enfoque técnico, comienzan la recopilación de los requerimientos del cliente para el desarrollo del nuevo producto. Dichos requerimientos, dependiendo de la decisión del equipo central, almacenaran en un folder compartido y/o en una herramienta llamada DOORS. Cabe recalcar que este folder compartido es el que utilizará para almacenar toda la información que se considere importante para todo el equipo mecánico.

Una vez teniendo los requerimientos, el líder mecánico del proyecto y el arquitecto comienzan con su análisis, en conjunto con los desarrolladores. El análisis de los requerimientos del cliente también viene acompañado con la recopilación de requerimientos internos y su análisis; la búsqueda de lecciones aprendidas, ya sea una búsqueda personal por experiencias anteriores o en comunidades intranet; guías de diseño que pueden estar en algún folder compartido, intranet o internet; referencia de proyectos anteriores; normas y/o estándares que puedan ser aplicadas al nuevo producto. Esta información recopilada conforma la base para la elaboración del diseño de los componentes mecánicos necesarios en el desarrollo del nuevo producto.

El diseño mecánico se hace a través del modelado 3D utilizando el CAD Catia V5, y con este modelo se crean los dibujos de ingeniería. Esta información es almacenada en una plataforma llamada Windchill PDMLink. El dibujo de ingeniería como archivo “.pdf” junto con un archivo “.stp” (AP 214), son la información técnica para compartir tanto a manufactura como a los proveedores. La información

hacia manufactura es liberada a través del sistema SAP y a los proveedores por medio del área de compras.

Por parte del cliente, se genera un dibujo específico para él y se comparte por medio de su plataforma (usualmente *“Team Center”*).

Toda la información oficial del proyecto es liberada en una plataforma para manejo del PLC, donde la información va madurando a través de las diferentes etapas del proyecto. Ejemplos de algunos documentos serían el DFMEA, el billete de materiales, análisis de requerimientos, etc.

Como se puede observar, dependiendo del tipo de información es el lugar donde esta se encuentra. Esta situación genera problemas de accesibilidad a la misma, es decir: comúnmente se dedica una considerable cantidad de tiempo de las personas involucradas para localizar, acceder y almacenar la información

Considerando que los modelos 3D y dibujos de ingeniería son el entregable final por parte de ingeniería mecánica, resalta su falta de interconectividad con cualquier información usada para su diseño e información que valide su funcionalidad, como lo son los requerimientos del cliente, normas, pruebas de laboratorio, referencia con otros proyectos o demás información que agregue valor al modelo, teniendo consecuencias dentro del mismo proceso, destacando las siguientes:

- Alta dependencia en la disponibilidad y experiencia del equipo de ingeniería mecánica para encontrar la información de referencia del diseño.
- Dificulta el rastreo de la información a lo largo del tiempo (difícilmente se encontrará información acertada de proyectos pasados que pueda ser de utilidad en proyectos activos, que no venga de la experiencia misma de los ingenieros).
- Poco o nulo reuso de la información.
- Alto riesgo de cometer los mismos errores de un diseño a otro ya que es difícil la implementación de lecciones aprendidas, siendo una vez más altamente dependientes de la experiencia de los ingenieros.
- Alto número de iteraciones para llegar al diseño final.
- Alto tiempo de desarrollo mecánico.

Para solucionar los puntos mencionados existen diferentes estrategias internas, de las cuales sobresale una plataforma que tiene como objetivo “mejorar la eficiencia a través del reúso, promover el desarrollo central por plataforma y funcionalidad, mejorar y facilitar la gestión de incidentes y rastreo de uso”, como lo es la Herramienta de Librería Funcional (FLT, por sus siglas en inglés) (Continental Automotive, s/f-a).

Aunque esta plataforma logra interconectar los requerimientos específicos del modelo 3D publicado, además de estar parametrizados a nivel plataforma y características (por ejemplo: postes de atornillado o sistemas de anclaje), y es capaz de llevarte al modelo 3D contenido en Windchill PDMLink, no te permite acceder a la información si tu primer punto de contacto es el modelo 3D. Desde ahí, no es posible acceder a la información de la plataforma, de los proyectos de referencia o especificaciones de apoyo, perdiendo la interconectividad con la información de referencia.

Actualmente esta plataforma sigue en fase de promoción para su aplicación masiva en productos reales.

1.2.2. Contexto de la industria

La industria se encuentra en una fase de transición. Las compañías buscan moverse de ser digitalizadas a ser digitales.

De una presentación realizada por Jeanne Ross (Investigadora Científica Principal en el *MIT Sloan Center for Information Systems Research*) se extraen los conceptos entre digitalizado y digital:

- “Digitalizado = Excelencia Operacional. La transformación mejora los productos tradicionales y los servicios al cliente.
- Digital = Innovación comercial rápida. La transformación entrega una nueva propuesta de valor al cliente.

Las tecnologías digitales están cambiando el juego porque ofrecen tres capacidades: datos ubicuos, conectividad ilimitada y poder de procesamiento masivo. Estas tres capacidades está cambiando la manera en que nosotros vivimos y hacemos negocios”. (“(218) 2020 Digital Transformation - Jeanne Ross - YouTube”, 2020)

Por otro lado, José M. Tam (Vicepresidente de *Digital Transformation* en *Softtek*) explica el diseñar para lo digital. “El diseño de negocios digitales es la configuración organizacional holística de: personas (roles, responsabilidades, habilidades), procesos (flujos de trabajo, rutinas, procedimientos) y tecnología (infraestructura, aplicaciones) para definir las propuestas de valor y ofrecer posibilidades gracias a las capacidades de las tecnologías digitales” (Softtek, s/f).

Para tener una mejor claridad del contexto de la industria en esta transformación, en la “Figura 2” se puede observar que solamente el 14% de las compañías a nivel global han logrado la digitalización



Figura 2: Proceso de digitalización de las compañías

(Softtek, s/f)

Existen diferentes sistemas en el mercado que abonan a las empresas en esta digitalización como *Siemens PLM Software* (SIEMENS, 2021), *Windchill PDMLink*(PTC, 2021), por mencionar algunos.

Estos sistemas proponen diferentes interconexiones entre cliente, desarrolladores de producto, calidad, validaciones, manufactura y proveeduría, no obstante, se necesita más que la tecnología para lograr esta transformación.

A partir de estas necesidades detectadas en la industria, se han propuesto normas que permitan contener junto a la información geométrica del modelo toda la información referente al diseño, manufactura y propiedades en un solo paquete de información (o archivo). La Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) ha ido adaptando sus estándares en este sentido, aumentando así las posibilidades de información que puede tener el modelo 3D en su formato de *STEP (Standard for the Exchange of Product Data)*, dentro de su módulo de aplicación “*AP242 managed model based 3D engineering*”. Esto está reflejado en la norma ISO 10303-242:2014 -08 (ISO, 2014).

Existen otros protocolos como lo es el *STEP AP 203*, *STEP AP 214*, que vienen básicamente integrados en el *STEP AP242* (CAPVIDIA, 2021).

1.2.3. Análisis causa-efecto

En la “Figura 3” se puede encontrar el árbol de Causas-Efectos, resaltando la interconectividad limitada que se tiene entre la información de entrada y los entregables en el desarrollo de producto, dentro del área de ingeniería mecánica:

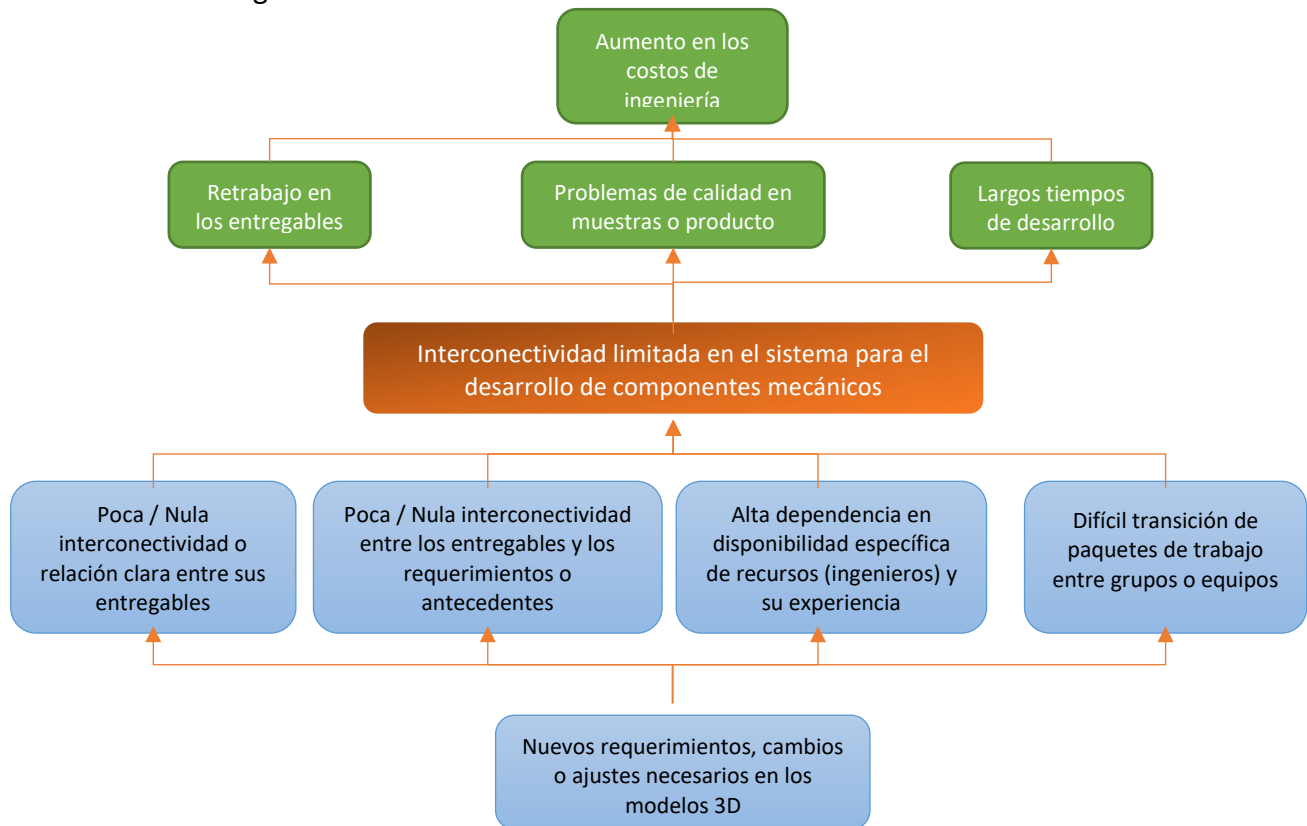


Figura 3: Árbol de Causa-Efecto

1.2.4. Matriz de marco lógico del problema

Jerarquía de objetivos	Resumen Narrativo	Indicadores	Medios de Verificación	Supuestos
Fin	Disminuir los tiempos y costos de ingeniería asociados a la disciplina de ingeniería mecánica, para la atracción de nuevos proyectos.	Disminuye en un 15% los tiempos de ingeniería a lo largo del proyecto, asociados a ingeniería mecánica, cumpliendo con los requerimientos establecidos.	Registro de carga de horas a proyectos y de entregables en tiempo y forma por etapa, plasmados en la planeación del proyecto.	Todo el equipo de R&D mecánico involucrado en el proyecto trabaja con el nuevo sistema.
Propósito	Propuesta de sistema interactivo e interconectado para el desarrollo de producto, enfocado en el área de ingeniería mecánica.	Interconectividad de la información a cualquier nivel de diseño (ensamble/ componente/ característica).	Reutilización de la información. Robustecimiento de componentes o características compartidas.	Involucramiento de todos los grupos mecánicos dentro del área Continental VNI.
Componentes	Modelos 3D, especificaciones, validaciones y administración de cambios.	Interconectividad entre todos los componentes y sus documentos/información de referencia.	Accesibilidad a la información desde cualquier punto dentro del sistema propuesto.	Se pueda genera una base de datos estructurada de cada una de las fuentes de información identificadas.
Actividades	<ol style="list-style-type: none"> Definición de reglas básicas para implementación y mantenimiento del sistema. Confirmar capacidad del software Windchill PDMLink para la compilación y versionamiento de la información. Definición de técnica para interconectar información Capacidad de adaptación del sistema. 	Prueba de concepto de reutilización de información de ingeniería y validación de interconectividad en el sistema.	Reporte de la prueba de concepto.	Resultados disponibles de las pruebas de concepto.

1.3. Objetivos de la intervención

Objetivo Principal:

Generar una propuesta de un sistema interactivo e interconectado para el desarrollo de productos, enfocado en el área de ingeniería mecánica, capaz de disminuir los tiempos de ingeniería asociados a la disciplina mecánica en un 15%, promoviendo el reúso de la información a cualquier nivel de diseño (característica, componente o ensamble), facilitando la accesibilidad a ella a través de la conexión de los sistemas asociados, agilizando de esta manera la toma de decisiones.

Objetivos Particulares:

1. Establecer y acordar reglas simples para el uso y mantenimiento del nuevo sistema.
2. Diseñar y llevar a cabo una experiencia piloto sobre la digitalización del conocimiento por medio del uso y actualización de librerías adaptables de componentes y subcomponentes mecánicos.
3. Analizar los alcances de plataformas existentes para el almacenamiento de la información generada por ingeniería dentro de la mismas y sus alcances de almacenar información de plataformas externas que aporten valor a los diferentes desarrollos y características, relacionando los diferentes niveles de diseño con su información de referencia
4. Generar propuesta de interconectividad implementando un sistema de grafos para navegar y visualizar la información de múltiples plataformas que abonan valor a los componentes diseñados por ingeniería mecánica.

1.4. Delimitaciones y área funcional a intervenir

El proyecto tiene como área funcional los equipos mecánicos de desarrollo, del área de “*Central Engineering*”.

La intervención se enfoca en estructurar la información para el desarrollo de productos para permitir la interconectividad entre proyectos, plataformas, grupos y disciplinas, logrando accesibilidad a la información a cualquier nivel de diseño y adaptabilidad del sistema, agilizando así la toma de decisiones y el reúso de la información.

A continuación, en la “Figura 4” se muestran todos los módulos y submódulos que afectan al área mecánica en el desarrollo de los productos.

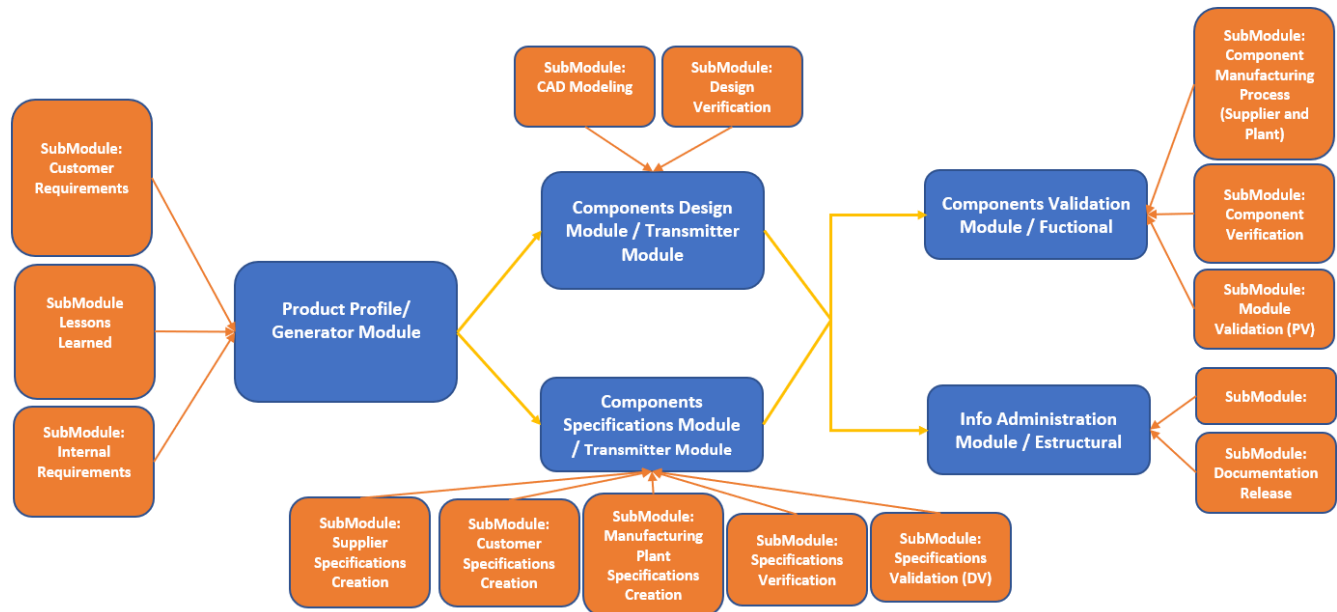


Figura 4: Módulos y submódulos

Tomando en cuenta la importancia de cada uno de los módulos y submódulos, resalta que el de mayor relevancia para enfocar esfuerzos en la intervención es el submódulo de “CAD Modeling” contenido en el módulo de “Components Design Module”, debido a que es en este submódulo en el que se buscaría incrementar la interactividad con los usuarios (equipos de desarrollo de ingeniería mecánica) e interconectividad con el resto de los módulos y submódulos.

1.5. Justificación y pertinencia del trabajo

Como se menciona en la sección 1.2.1., Continental Automotive utiliza el proceso del PLC para el desarrollo de sus productos. Los sistemas dentro del proceso actual tienen una interconectividad limitada entre los diferentes módulos, a lo largo del desarrollo del producto, al igual que con sus entregables. Esta interconectividad disminuye aún más con la información entre proyectos.

La interconectividad limitada genera diferentes problemáticas para los equipos involucrados en el desarrollo de productos, las cuales intentan ser mitigadas mediante procesos aislados como son, por ejemplo, las plataformas de lecciones aprendidas, intentando ligar experiencias de proyecto a proyecto dentro de los equipos de trabajo. Aun agrupando estos procesos, no se logra formar un sistema que permita hacer cambios o ajustes en los diseños de manera ágil, siendo así propensos a la experiencia y

organización específica dentro de los involucrados en el desarrollo de cada uno de los proyectos, propiciando a repetir patrones de error entre los diferentes proyectos.

Específicamente, dentro del proceso actual de desarrollo de componentes mecánicos se cuenta con todo un proceso en el cual el agente principal es el equipo de R&D mecánico que, como se mencionó anteriormente, es el encargado de recopilar y analizar la información proveniente del cliente, manufactura, equipo central, así como revisar lecciones aprendidas, requerimientos internos y guías de diseño. En esta fase se genera, en su mayoría, el paquete de información de referencia necesaria para la realización de los diseños plasmados en los modelos 3D y dibujos de ingeniería. Este paquete de información tiene una interconectividad limitada con los modelos generados, teniendo como único vínculo directo al mismo equipo de ingeniería mecánica.

Siguiendo con el desarrollo del producto, la interconectividad limitada no solo se encuentra entre la información de referencia y el diseño mismo. También está entre el diseño y sus diversas revisiones/validaciones, resaltando una vez más que el vínculo de toda la información es completamente dependiente del equipo de ingeniería mecánica (factor humano). La ejemplificación de la dependencia que tiene la interconectividad del sistema en el equipo de ingeniería mecánica se muestra en la “Figura 5”.

Se hizo un análisis de flujo considerando únicamente la Fase B y Fase C (diseño final) de la “Figura 1”, tomando de referencia el componente de mayor tiempo de desarrollo dentro de un módulo de telemática (la carcasa), obteniendo como resultado un tiempo de desarrollo de 60 semanas por parte del grupo de ingeniería mecánica (Magallanes Luna, 2020). El resultado demuestra la necesidad de redefinir el sistema de desarrollo en los equipos de ingeniería mecánica. En la “Tabla 1” se muestra la compilación de resultados.

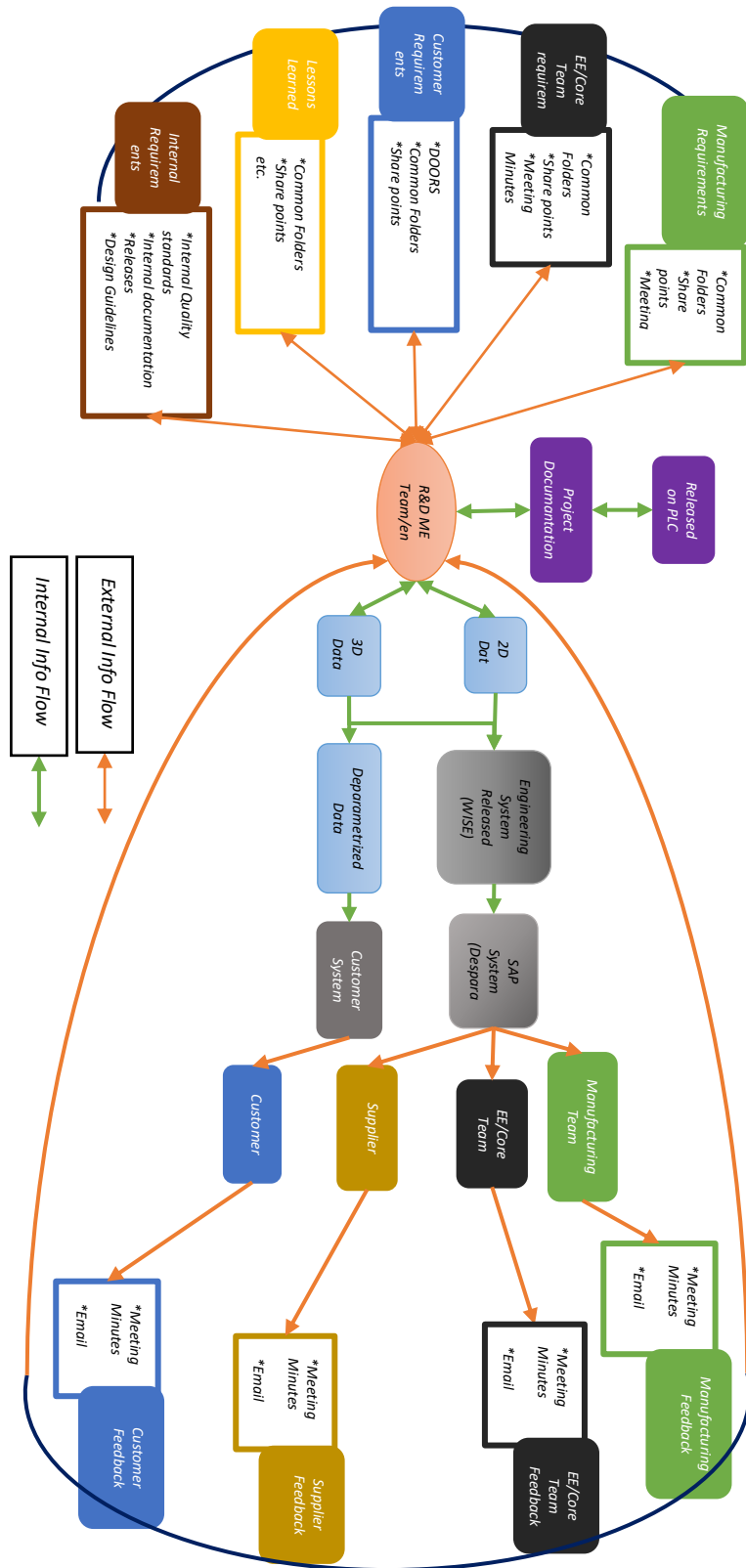


Figura 5: Agentes e interconectividad actual

Tabla 1: Recopilación de resultado de flujo de información ME

TASK	Original Timing					Customer Info Wks.	Internal Info Wks.
	Interaction	Time (hrs.)	TOTAL (hrs.)	Days-8 hrs.	Weeks-40 hrs.		
Design Phase						4.1	45
Alignment Meeting	1	520	520	65	13		
First 3D Concept	1	300	300	37.5	7.5		
First 2D Concept (Main tolerances)	1	120	120	15	3		
Make Adjustments (manufacturing comments)	1	20	20	2.5	0.5		
Prototype Production	3	120	360	45	9		
Make Adjustments for new Prototype Sample	2	40	80	10	2		
3D Detail Review	13	16	208	26	5.2		
Make 3D Detail Design Adjustments	12	24	288	36	7.2		
Start 3D distribution	1	40	40	5	1		
Make Customer Adjustments	8	16	128	16	3.2		
3D Approval Confirmation	1	8	8	1	0.2		
Customer Drawing	1	40	40	5	1		
Customer Detail 2D Review	3	4	12	1.5	0.3		
Make Customer 2D Adjustments	2	4	8	1	0.2		
Sent to Customer	1	40	40	5	1		
2D Approval Confirmation	1	8	8	1	0.2		
Customer Drawing Release	1	8	8	1	0.2		
R&D Detail 2D Review / TA	4	20	80	10	2		
Make Drawing Adjustments	3	20	60	7.5	1.5		
Sent to Quality to Review	7	1	7	0.875	0.175		
Make 2D Adjustments	6	20	120	15	3		
Received Drawing Approval	1	1	1	0.125	0.025		
Release Drawing into the System	1	28	28	3.5	0.7		
Quotation Phase							Total Weeks
Send Technical files (3D & 2D)	1	2	2	0.25	0.05	1	1.05
Receive Supplier Technical Doubts	1	2	2	0.25	0.05	4	
Review Doubts	1	7	7	0.875	0.175	4	
Send Technical Reply	1	1	1	0.125	0.025	4	
Supplier Component Review							Total Weeks
Review Meetings	7	2	14	1.75	0.35	3	4.05
Make Analysis & Prepare Feedback	5	8	40	5	1	3	
APQP							Total Weeks
APQP Meetings	6	2	12	1.5	0.3	1	4.85
APQP Analysis & Feedback	4	12	48	6	1.2		
Tool Review Meetings	1	24	24	3	0.6		
Tool Follow up meetings	1	24	24	3	0.6		

<i>Receive Dimensional Report</i>	4	1	4	0.5	0.1		
<i>Review Dimensional Report</i>	4	5	20	2.5	0.5		
<i>Send Ship Tool Approval</i>	1	8	8	1	0.2		
<i>Receive Dimensional Report (PPAP)</i>	2	1	2	0.25	0.05		
<i>Review Dimensional Report (PPAP)</i>	2	6	12	1.5	0.3		
<i>Make Final Drawing Updates</i>	1	4	4	0.5	0.1		
<i>Release Drawing/Deviation list</i>	1	28	28	3.5	0.7		
<i>PSW Signed</i>	1	8	8	1	0.2		

	<i>Timing creation internal documentation</i>
	<i>Timing creation customer documentation</i>
	<i>Generic Activity</i>

Durante el análisis se encontraron las siguientes áreas de oportunidad, que encontrando la solución(es) adecuada tendría un gran impacto en los tiempos de desarrollo.

1.5.1. Equipo Mecánico R&D como gestor de la información

El hecho de que el mismo equipo sea completamente responsable de recibir toda la información de los diferentes agentes, documentarla en diferentes plataformas, generar la información de diseño y distribuirla a través de los sistemas, hace que la eficacia y eficiencia del proceso sea altamente sensible a cualquier cambio dentro del equipo y completamente dependiente de la pericia, experiencia de sus integrantes, aunado a la calidad en comunicación y organización dentro del mismo.

1.5.2. Sensibilidad del proceso a cambios

La robustez actual del proceso de diseño y las metodologías aplicadas durante el mismo, provocan que cualquier cambio en los requerimientos tenga un impacto significativo en el tiempo por los ajustes necesarios para cumplir con estos cambios.

Sin el apoyo de un sistema que permita al equipo de ingeniería mecánica realizar ajustes en los diseños sin tener la necesidad de una completa revalidación, independientemente de la etapa del proyecto en la que se encuentre, una vez más todo recae en el equipo, su experiencia, pericia y habilidad para solucionar dichos cambios, lo que puede provocar un retraso considerable en el desarrollo del producto.

1.5.3. Interconectividad limitada en el proceso

A pesar de que toda la información (requerimientos, CAD's, dibujos, revisiones, evaluaciones, simulaciones, etc.) se encuentra en folders compartidos –“la nube”-, el equipo de ingeniería mecánica es el único agente capaz de identificar qué documentos pueden servir de puente para comprender mejor la información de diseño, generando gran dependencia en que el recurso (en este caso el ingeniero a cargo) esté disponible para ayudar a la creación de estos vínculos.

La situación se agrava cuando el diseño a consultar tiene tiempo de haber sido lanzado, dado que ahora también depende de la memoria de la persona para saber cómo está conectada la información en ese proyecto/modelo en específico.

1.5.4. Información de referencia para diseño

Las guías de diseño, lecciones aprendidas o mejores prácticas y referencia de productos terminados, son las bases principales para que el diseñador pueda buscar información que le ayude a cubrir los requerimientos del nuevo producto. Desafortunadamente, las guías de diseño, en su mayoría, responden a una necesidad genérica, la cual tiene que ser adecuada a la situación específica del diseño, que en todo caso las lecciones aprendidas o mejores prácticas sirven para acotar o redefinir ciertos aspectos para llegar a la solución deseada, a pesar de ello no existe una conexión sistemática entre toda la información que pudiera ser de utilidad para el diseñador, dificultando su labor, siendo más propenso a cometer errores ya resueltos anteriormente por otros diseñadores, aumentando el tiempo de búsqueda y, por lo tanto, el tiempo de desarrollo.

El análisis de los puntos anteriores evidencia la necesidad que contar con un agente dentro del sistema, que colabore con los diseñadores a interconectar toda esta información, pudiendo así centralizar las diferentes referencias al modelo 3D. De esta manera las referencias también pudieran llevar al diseñador a otros puntos donde la misma información es utilizada. En la “Figura 6” se puede encontrar cual es la propuesta para crear la conexión de la información de los diferentes agentes, facilitando así el trabajo del diseñador, independientemente de la madurez del proyecto, su conocimiento de este, o el tiempo que tenga en la nube. En los capítulos posteriores, se desarrollará cómo funciona dicho agente y sus impactos esperados.

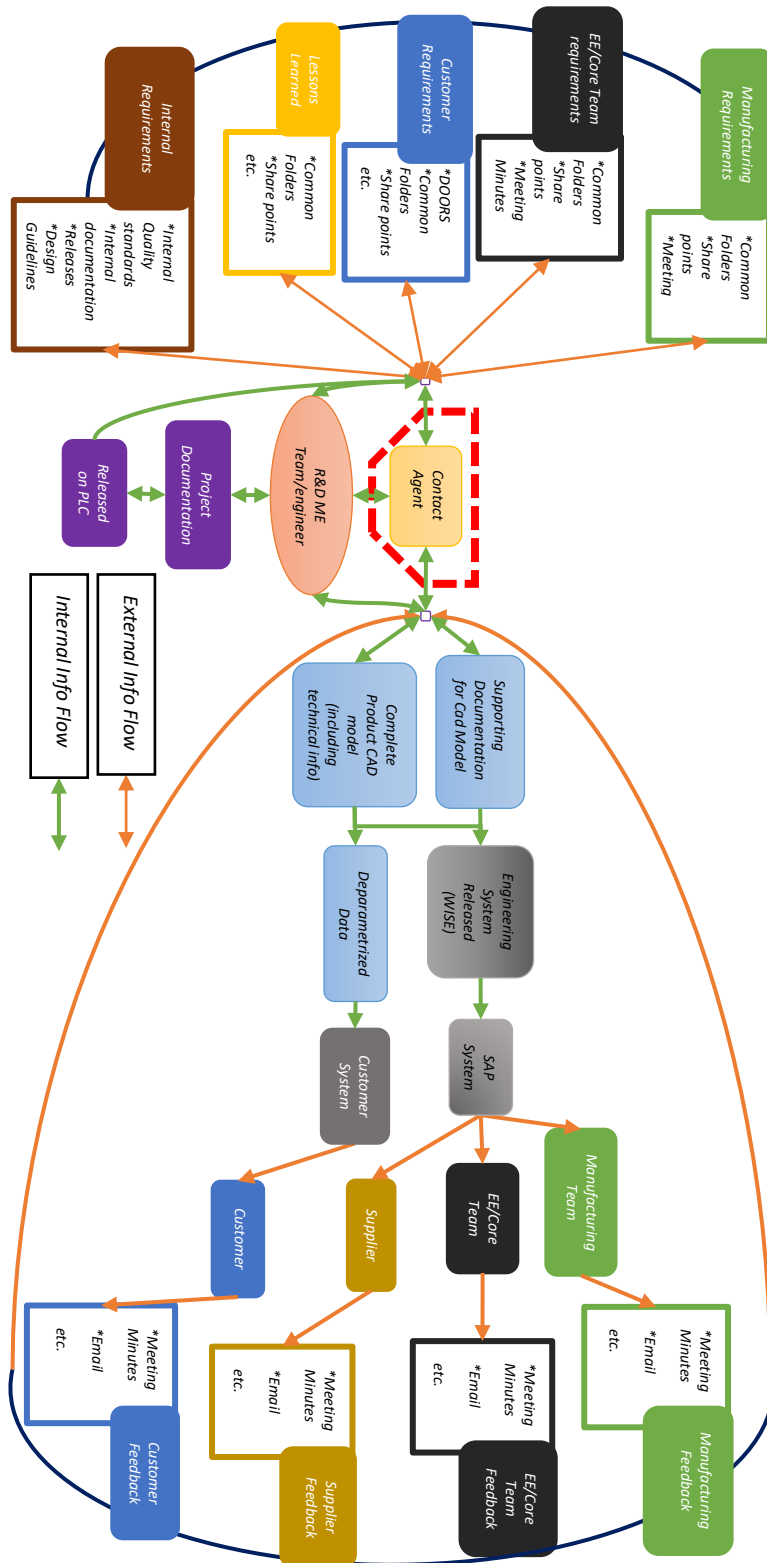


Figura 6: Propuesta de agentes e interconexiones

2. Marco conceptual o de referencia

En este segundo capítulo se exponen la situación actual que enfrenta la disciplina de ingeniería mecánica durante el desarrollo del producto, resaltando la interacción que tiene que las principales herramientas y sistemas, exponiendo y resaltando la falta de interconectividad.

También, se analizan opciones existentes que pudieran aportar ideas, sumando diferentes metodologías en la búsqueda de soluciones que cubran las necesidades de la disciplina.

2.1. Estado de la cuestión

Considerando el proceso de desarrollo de producto, enfocado en el área de ingeniería mecánica, existen diferentes herramientas y sistemas que son utilizados por los ingenieros para resolver alguna situación específica dentro del desarrollo del producto, pudiendo dividir estas situaciones en 3 bloques principales:

- Acceso a la información necesaria para el desarrollo.
- Diseño, modelado y desarrollo del producto.
- Distribución y mantenimiento de la información.

A continuación, se muestran los principales sistemas y herramientas con los que se cuentan, su utilidad e impacto dentro del trabajo realizado por el grupo de ingeniería mecánica.

2.1.1. Sistema y Herramientas

2.1.1.1. Sistema de folders compartidos

Este sistema de trabajo podría ser considerado uno de los más básicos, ya que los diferentes sistemas operativos permiten la organización de la información por medio de folders. Este tipo de estructuras pueden ser adecuadas a las necesidades específicas del proyecto y distribuidas por medio de redes internas, permitiendo el acceso a la información y distribución a todo el equipo, permitiendo también el mantenimiento de los diferentes archivos.

La interconectividad de la información es limitada, porque a pesar de poder contener todos los archivos dentro de un mismo ambiente, no es fácil encontrar dependientes de manera directa. Altamente susceptible a cambios tanto de estructura como de contenido.

2.1.1.2. DOORS

DOORS es una herramienta desarrollada por IBM para el análisis de requerimientos (IBM, s/f). Permite separar los requerimientos por disciplina y ligar la evidencia de cómo es que ingeniería cumplirá el requerimiento específico, anexando el documento o la ruta.

La interconectividad de la herramienta puede ser buena debido a que, como se mencionó anteriormente, puede relacionar al requerimiento con su contraparte de ingeniería. Sin embargo, la contraparte no necesariamente está ligada al requerimiento, por lo que la interconectividad es unidireccional. También puede generar confusión o complicación en el mantenimiento de la información, porque no es una herramienta que contenga todos los entregables de ingeniería, propiciando la duplicidad de la información, dificultando su correcta actualización.

2.1.1.3. Intranet

Herramientas web internas que permiten a los ingenieros acceder a diferentes bases de datos y comunidades de ingeniería, donde pueden encontrar normas, guías de diseño, mejores prácticas y lecciones aprendidas que pueden ser implementadas dentro de sus desarrollos actuales.

Los grupos encargados del mantenimiento de estas bases de datos son independientes entre sí y no están enfocados en buscar la interconectividad de la información dentro de cada una de las herramientas.

2.1.1.4. Sistema de PLC

Sistema donde se comparten los entregables de todas las disciplinas en el desarrollo del proyecto. Dichos entregables van evolucionando en las diferentes etapas del proyecto hasta obtener los documentos finales. En pocas palabras, es el sistema utilizado para documentar todo el proceso del PLC mencionado en el capítulo 1.2.1.

La estructura y manejo es muy parecida al sistema de folders compartidos (sección 2.1.1.1), aunque en este caso las estructuras en los folders son completamente estandarizadas. Además, el sistema permite control oficial de versiones de los documentos, así como un proceso de aprobación. También los entregables son controlados dependiendo de la fase del proyecto.

Al igual que con los folders compartidos, la interconectividad de la información es limitada. A pesar de poder contener todos los archivos dentro de un mismo ambiente, no es fácil encontrar dependientes de manera directa, volviéndose prácticamente en un recopilador de entregables de ingeniería.

2.1.1.5. SAP

Sistema donde se comparten los entregables de todas las disciplinas en el desarrollo del proyecto que son relevantes para manufactura. Dichos entregables van evolucionando en las diferentes etapas hasta obtener los documentos finales. Estos entregables son principalmente los billetes de materiales, dibujos de ingeniería y manejo de madurez de los materiales y ensambles. (SAP, s/f)

Administrativamente es un sistema que da un soporte completo a los ingenieros con el manejo de sus entregables, versiones y liberaciones. La interconectividad dentro del mismo sistema es adecuada, sin embargo, limita la interacción fuera del mismo sistema.

2.1.1.6. Windchill PDMLink / Siemens PLM Software

Mencionados en la sección 1.2.2., estos sistemas permiten diferentes interconexiones entre cliente, desarrolladores de producto, calidad, validaciones, manufactura y proveeduría. También tienen interconectividad con los programas de CAD utilizados por los ingenieros mecánicos para el diseño y modelado de las piezas.

Estos sistemas, desde la perspectiva del ingeniero mecánico, contienen diferentes elementos de interconectividad, interactividad e interacción necesarios para el desarrollo de productos, siempre y cuando la información pertenezca al mismo sistema.

2.1.2. Relación entre herramientas

Como se expone en la sección anterior, cada una de las herramientas o sistemas están enfocadas a un fin específico, cuyo uso en su mayoría es por iteraciones, evolucionando con la madurez del proyecto.

A pesar de tener herramientas que se utilizan para publicar los entregables y estos puedan ser accesibles para el resto de las disciplinas, en la actualidad la interconectividad entre los entregables es muy limitada en la mayoría de ellas, dificultando la navegación a través de estos, sin la necesidad de

tener que conocer el documento en específico que se quiere consultar, mermando de esta manera la oportunidad de acceder a mayor cantidad de información en un menor tiempo.

Esta falta de conectividad provoca una gran sensibilidad a cualquier cambio durante el proceso de desarrollo. En etapas tempranas del proyecto es difícil para el equipo encontrar información en las lecciones aprendidas que sea aplicable al nuevo proyecto. La mayoría de las lecciones aprendidas vienen de la experiencia de los diferentes integrantes del equipo (en caso particular para este trabajo, del equipo mecánico R&D). Las guías de diseño y mejores prácticas no están disponibles en un solo punto, folder o carpeta, por lo que localización depende de la misma experiencia y pericia del diseñador para su búsqueda. Además, como se menciona en la sección 1.5.4., las guías de diseño y mejores prácticas, en su mayoría, responden a una necesidad genérica, teniendo que ser adaptadas a la situación en específico una vez que son encontradas e interpretadas. Algo similar sucede con los estándares internos, ya que puede haber variación dependiendo de la planta de manufactura donde el producto vaya a ser ensamblado.

Toda la información liberada en el sistema del PLC o en SAP está desvinculada de la fuente, sirviendo esta información solo de referencia y requiriendo del soporte del mismo diseñador para aportar mayor detalle.

La situación se repite proyecto a proyecto y dada la evolución en la demanda de estos, los tiempos de desarrollo cada vez más reducidos, inclusión de nuevas tecnologías en los productos, grupos de trabajo cambiantes de un proyecto a otro, interacción con diferentes localidades, resulta complicado seguir arrastrando con la falta de conectividad en los entregables, dependiendo del conocimiento directo de los integrantes de cada equipo, siendo sensibles a cualquier variación.

2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

Existen diferentes soluciones en el mercado que podrían abonar ideas a la situación planteada. Dentro del mismo ramo de la ingeniería mecánica, una de las soluciones más comunes son las librerías, las cuales constan de partes estándar como conectores, tornillería, accesorios, etc., inclusive llegando a haber librerías de características comunes como postes para atornillado y soportes. Un claro ejemplo de estas librerías es la plataforma interna FLT. Adicional a lo ya mencionado anteriormente sobre esta plataforma, su mantenimiento está planteado a ser centralizado, siendo propenso a limitaciones de

recurso para liberación de nuevas características o integración de información a las características existentes, aunque propiciando un mejor control.

Windchill PDMLink permite la inclusión de documentos y referencias ligadas a los modelos mediante *"Product Structure"* (Continental Automotive, 2021), y aprovechando su interconectividad con el sistema de SAP, permite decidir qué documentos se quieren liberar en SAP para el equipo de manufactura.

Fuera del ramo de ingeniería mecánica, existen alternativas como las librerías de circuitos. Lo resaltable de estas librerías es que, dependiendo de los requerimientos que se ponga en las entradas, el sistema te da diferentes soluciones y el porcentaje de acercamiento a los requerimientos expuestos (Texas Instruments, 2021). Esta sección en específico suena atractiva para ser considerada como parte de una futura solución al problema que se enfrenta en este trabajo.

El manejo de bases de datos, sobre todo la opción orientada a grafos, se muestran como una opción para poder relacionar y conectar la información contenida en los diferentes sistemas. Estas bases de datos orientadas a grafos contienen nodos, bordes y propiedades que se utilizan para representar y almacenar datos de una forma que no permiten las bases de datos relacionales, proporcionando mayor flexibilidad para detectar conexiones distantes y analizar datos en función a atributos de su relación (ORACLE, 2021). Permiten visualizar la red de información y relaciones, facilitando al usuario su entendimiento.

2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo

Durante este trabajo se utilizaron diferentes herramientas tecnológicas y de innovación, comenzando con herramientas para la evaluación de oportunidades para nuevos productos, logrando identificar conceptos y aplicaciones como el tamaño del mercado, diferenciación, competencia, frecuencia de uso y dispersión del mercado. Esta información fue utilizada para detectar las áreas de oportunidad, crear una matriz de un nuevo producto y posteriormente una primera versión del perfil del nuevo producto, documento en el cual se plantearon por primera vez los antecedentes del proyecto, se esclareció el mercado meta, se encontró un valor de mercado del nuevo producto y las competencias que este debería de cumplir, considerando hábitos de consumo, características funcionales y ángulos de diferenciación detectados en ese momento.

También, se utilizó el programa de “Bizagi Modeler” (bizagi, 2021), que sirvió para mapear el proceso de diseño actual del componente principal en un módulo de telemática, considerando la interacción de la información generada por el equipo mecánico R&D con las diferentes disciplinas y sus respectivos bucles de revisión, logrando de esta manera establecer una referencia clara del tiempo requerido en el desarrollo de la pieza. Esta información se puede encontrar en la “Tabla 1”.

Una vez teniendo un panorama general de la situación, se trabajó para aclarar la definición del problema, obteniendo de resultado el reconocimiento de los módulos y submódulos del sistema expuestos en la “Figura 4”, sirviendo de base para seleccionar los módulos y submódulos principales, centrando en ellos las propuestas de solución.

Con el fin de encontrar soluciones que sean capaces de adaptarse a las diferentes situaciones que se puedan enfrentar en el mismo sistema, se trabajó con principalmente con dos herramientas que fomentan la innovación, la metodología de TRIZ (Alstuller, s/f) y el manejo de la complejidad (Munné, 2005).

La metodología del TRIZ sirvió para localizar cada uno de los requerimientos dentro de sus módulos y submódulos correspondientes, para a su vez analizarlos desde otra perspectiva. Los tipos de solución que resaltaron aplicables a la problemática fueron principalmente: Segmentación, extracción, consolidación, universalidad, anidado, acción previa, acción periódica y retroalimentación.

El manejo de la complejidad permitió poder ver otro enfoque en las soluciones, alejando la propuesta de la búsqueda de una solución perfecta a cada situación por enfrentar, comprendiendo que los sistemas no son estáticos y por lo tanto las soluciones tampoco, aprendiendo a manejar a favor el caos dentro de cualquier sistema, logrando con ello encontrar soluciones capaces de adaptarse en el tiempo, de acuerdo con la necesidad afrontada en cualquier momento específico dentro del mismo proceso.

Python, junto con la librería de “Pandas” (pandas, 2021), funcionó como una herramienta para poder generar, estructurar, depurar y separar bases de datos de tal manera que fueran funcionales para su posterior uso. Teniendo ya las bases de datos listas, la metodología de análisis de bases de datos orientada a grafos, utilizando el programa de neo4j (Neo4j, 2021a), dio como resultado una manera innovadora de poder interconectar la información de manera de que el usuario pudiera ver

directamente todas las relaciones existentes dentro de la base de datos, con opciones de búsquedas específicas y análisis de diferentes tipos.

3. Estrategia metodológica o de intervención

En la búsqueda de una solución a la problemática planteada en este trabajo, se generaron y desarrollaron diferentes pruebas de concepto. Estas pruebas abonaron diferentes datos relevantes en la búsqueda de la solución y en la siguiente sección se muestra la justificación, planteamiento de las pruebas de concepto, desarrollo y resultados generales.

3.1. Justificación de la estrategia metodológica o de intervención

Después de haber hecho el análisis completo de la situación y problemática actual, explicado en el capítulo 1 y utilizando como referencia del flujo de la información, interacción entre agentes y tiempos invertidos la “Figura 5”, “Figura 6” y “Tabla 1”, sobresale la falta de interconectividad que pueden llegar a tener los modelos 3D, generados por el grupo de ingeniería mecánica, con su información de referencia, así como la transferencia de experiencias de un proyecto a otro

Considerando las limitaciones de recursos y tiempos de desarrollo en este trabajo de investigación, se crearon tres pruebas de concepto.

3.1.1. Prueba de concepto 1: Evaluación del uso de paquetes de información a nivel característica

La prueba de concepto 1 se enfocó en la implementación de una característica común de diseño, específicamente en una guía de anclaje como ejemplo de una librería de componentes, sobre el desarrollo de una carcasa básica.

Esta característica común da soporte a los diseñadores (integrantes del equipo de ingeniería mecánica), dado que contiene información útil para ser reutilizada en las diferentes piezas. El objetivo principal de esta prueba de concepto 1 fue evaluar la factibilidad y efectividad de una base de conocimiento a nivel característica para mostrar la importancia del reúso de la información en el ahorro de tiempo de desarrollo.

Para evaluar lo anterior se diseñó un experimento factorial completo 2^2 con dos réplicas. Para controlar las 8 corridas se generaron sesiones de trabajo específicas, logrando así disminuir afectaciones externas sobre la ejecución del ejercicio. También, dentro del diseño de experimentos

fueron considerados 2 bloques con la intención de ver si había afectaciones significativas entre la primera y segunda corrida de cada equipo.

Tabla 2: Factores y Niveles del diseño de experimentos

Sistema	Equipo de ingeniería mecánica
Sistema de diseño actual	Equipo de ingeniería 1
Sistema utilizando librería	Equipo de ingeniería 2

Tabla 3: Resumen de diseño de experimentos

Factores	2	Base de diseño	2, 4
Corridas	8	Réplicas	2
Bloques	2	Puntos Centrales	0

El “sistema de diseño actual” representa la manera tradicional modelar una pieza, donde el diseñador toma los requerimientos, los analiza y comienza el diseño de los componentes con sus recursos técnicos personales.

El “sistema utilizando librería” representa la propuesta donde el diseñador, además de tener los requerimientos, cuenta con la librería de características comunes con las cuales puede interactuar e implementar en su diseño, haciendo solo los ajustes necesarios para cumplir con los requerimientos antes establecidos.

3.1.2. Prueba de concepto 2: Alcances de Windchill PDMLink para almacenaje de información

La prueba de concepto 2 se dedicó a analizar las propiedades y funcionalidades del sistema de Windchill PDMLink como almacén de la información de diseño. En este contexto, la información de diseño se refiere tanto a los modelos 3D, dibujos de ingeniería o cualquier información de referencia que abone al mismo. De esta manera, todo el paquete de información de diseño se puede encontrar en un mismo punto, logrando interconectar los modelos 3D y dibujos de ingeniería con su información de referencia, y la interconectividad de los modelos a cualquier nivel de madurez (característica, componente, ensamble) utilizando el potencial del sistema Windchill PDMLink, que tiene como ventaja ser el software utilizado dentro de Continental Automotive.

Para el desarrollo de la prueba de concepto 2 se tomaron la misma carcasa y la guía utilizada en el diseño de experimentos, agregando un ensamble. De esta manera se pudo tener los tres niveles de diseño interconectados: característica, pieza y ensamble. También se crearon documentos de práctica para ser ligados a los diferentes modelos.

De esta manera, se contó con todo lo necesario para trabajar a manera piloto con la interconectividad de toda la información contenida dentro de Windchill PDMLink (ya sea información perteneciente al sistema o información que hace referencia a un sistema o herramienta externo), para comenzar la transición de convertir los modelos 3D en información digital (“(218) 2020 Digital Transformation - Jeanne Ross - YouTube”, 2020), teniendo el objetivo de que, más allá de ser una simple representación geométrica de un proyecto, tenga el potencial de mostrarse como una propuesta de valor al cliente (en este caso el cliente es el mismo grupo de ingeniería mecánica), encontrando en ellos conocimiento, acceso a la información y experiencia de terceros, no solo la representación geométrica actual.

3.1.3. Prueba de concepto 3: Propuesta de sistema de grafos para navegación y visualización de la información en múltiples sistemas

A pesar de que en la prueba de concepto 2 se logra relacionar al modelo 3D con su información de referencia, esta no es total dado que solo considera información existente dentro de Windchill PDMLink, perdiendo una vez más visibilidad o referencias estando fuera de ese sistema en específico.

Pensando en encontrar una solución holística que lograra conectar las diferentes sistemas que contengan información de valor para los diseños generados por ingeniería mecánica, representados en los modelos 3D y dibujos de ingeniería, se ideó la utilización de un sistema bases de datos (Foster & Shripad, 2014). De esta manera, Windchill PDMLink pasa a ser una base de datos más.

Con lo anteriormente expuesto, la prueba de concepto 3 consistió en estructurar información de algunos sistemas que sirvieron de muestra (entre ellos Windchill PDMLink), para poder generar el sistema de bases de datos. Para la interconectividad y manejo de estas bases de datos se decidió orientarla a grafos dada la relevancia de las relaciones entre toda la información y la capacidad de análisis de datos que se tiene en esta metodología, más allá de solo poder consultar información (Robinson et al., 2015). Un ejemplo es poder saber explícitamente el tipo de relación que tiene el

modelo 3D con su información de referencia (si es requerimiento de cliente, estándar, regulación o lección aprendida).

3.1.4. Consideraciones costo/beneficio de la estrategia

La razón de haber separado la propuesta de desarrollo en tres diferentes pruebas de concepto fue para poder aislar y cuantificar los beneficios esperados de tener accesibilidad a la información para el desarrollo de componentes mecánicos.

Se tomó la decisión de crear un diseño de experimentos en la prueba de concepto 1, ya que este tipo de metodologías permite cuantificar y dimensionar si los ahorros de tiempo por el hecho de tener información al alcance que ya ha sido validada anteriormente, realizando solo los ajustes necesarios para cubrir una nueva necesidad o requerimiento, son estadísticamente significativos, permitiendo así sustentar que el acceso a la información impacta directamente en los tiempos de desarrollo.

Continuando con la importancia del acceso a la información, la prueba de concepto 2 busca mostrar los beneficios de poder compilar la información, de manera estructurada, en un punto de contacto (una base de datos) que permita a los usuarios poder consultar la información disponible, pudiendo utilizar para este punto el sistema de Windchill PDMLink como el ambiente de desarrollo y así, poder conocer los alcances y beneficios que podría aportar dentro de proyectos reales.

Como último punto, la prueba de concepto 3 amalgama los beneficios de las dos pruebas anteriores, resaltando una vez más la importancia del acceso a la información, el reúso, la organización adecuada para su consulta oportuna, añadiendo la posibilidad de realizar análisis de la información contenida en las diferentes bases de datos involucradas, dando así un mayor poder de decisión a los usuarios. Todo esto utilizando el programa llamado neo4j en su versión gratuita (Neo4j, 2021a), que tiene las funcionalidades necesarias para mostrar los alcances en la implementación de un sistema de grafos para navegar, visualizar y analizar la información de múltiples sistemas (bases de datos).

3.2. Herramientas e instrumentos

Las herramientas de uso principal para el desarrollo de las pruebas de concepto fueron: CATIA V5, como el software de generación de modelos 3D y dibujos de ingeniería; Windchill PDMLink como sistema de almacenaje y control de versiones; y neo4j, como el generador del sistema de grafos.

El instrumento utilizado para el control de tiempos fue el uso de sesiones de trabajo, con la intención de que los participantes tuvieran disponibles las mismas ventanas de tiempo para realizar el trabajo y así poder obtener resultados confiables.

Para el análisis de los datos estadísticos del diseño de experimentos se utilizó la herramienta de Minitab para crear el experimento y el posterior análisis de los datos cuantitativos.

Al ser un sistema con alta interactividad con los usuarios, se hizo también una entrevista a los participantes de la prueba de concepto 1, teniendo de esta manera su perspectiva del sistema como usuario, pudiendo así compilar los resultados cualitativos de la prueba en viva voz de los mismos participantes.

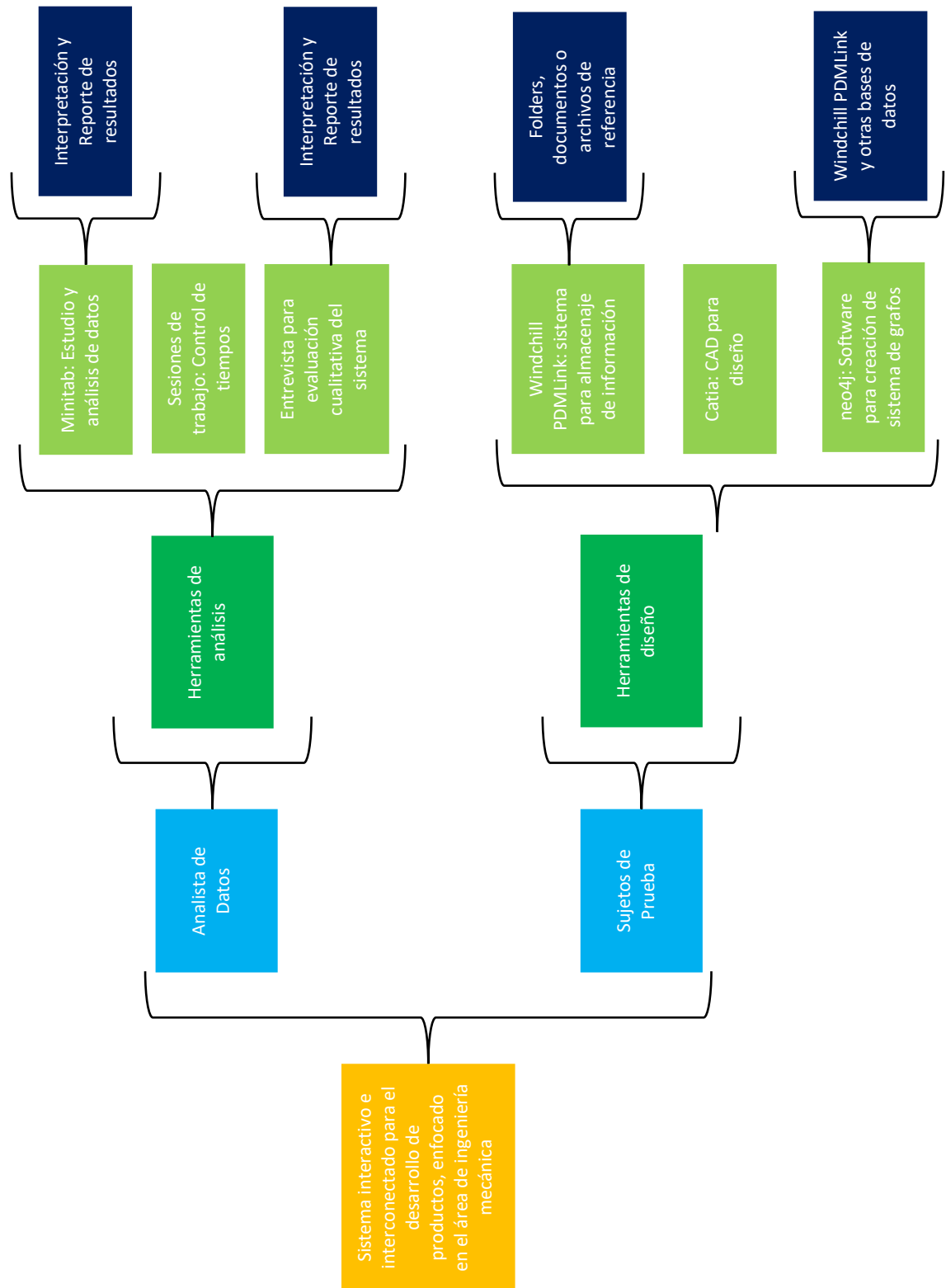


Figura 7: Herramientas e instrumentos

3.3. Muestra o sujetos de investigación

Para la realización de las pruebas de concepto, el primer reto fue conseguir un grupo de trabajo con diferentes experiencias, responsabilidades y multidisciplinario. Haciendo un análisis de las diferentes etapas dentro de las pruebas de concepto, las herramientas y tecnologías a utilizar, se definió la intervención de cuatro disciplinas principales: ingeniería mecánica, CAD IT, PDMLink IT y simulaciones mecánicas.

Habiendo identificado las disciplinas, se invitaron a participar en el proyecto a 3 integrantes mecánicos de grupos diferentes, una integrante de CAD IT, una integrante de PDMLink IT y un integrante del grupo de simulaciones. Para identificar a este grupo, se le llamó “Equipo de Definición”.

El “Equipo de Definición” acordó los elementos a utilizar en la prueba de concepto 1, que fueron la carcasa simple y la guía de anclaje, y eligió a los participantes para correr el experimento (selección de la muestra)

En la selección de la muestra se buscó nivelar los equipos con integrantes que tuvieran una experiencia similar en el uso de la herramienta Catia V5 y PDMLink, buscando evitar una afectación en los resultados del experimento a causa de diferencias técnicas considerables entre los integrantes de cada grupo.

Como se mencionó en la sección 3.1.1., esta muestra constó de dos equipos de ingeniería, con dos integrantes cada uno. Se generaron sesiones de trabajo específicas para disminuir afectaciones externas sobre la ejecución del ejercicio, teniendo un mejor control de los tiempos reales de trabajo en el experimento.

Para la prueba de concepto 2 el mismo “Equipo Definición” fue el que estructuró la información en el sistema de PDMLink para analizar el alcance de la interconectividad de los modelos, a cualquier nivel de madurez, con su información de referencia, logrando así almacenar toda la información necesaria para el desarrollo de componentes mecánicos en un solo punto.

En la prueba de concepto 3 el “Equipo Definición” seleccionó los sistemas más relevantes de donde PDMLink obtiene información de referencia. Identificando esos sistemas se generaron las bases de datos utilizadas para crear el sistema de grafos. Estas bases de datos fueron:

- PDMLink: Siendo el sistema donde se almacena la información de desarrollo de componentes mecánicos, se pudo generar una base de datos con 4 productos creados solo para el desarrollo de este ejercicio. Cada producto con sus respectivos modelos 3D/2D e información de referencia generada dentro del mismo sistema de PDMLink o tomada de las otras bases de datos creadas en el ejercicio.
- WISDOM: Es un sistema para gestión de estándares e información documental (AGU, 2021), logrando con ella generar una base de datos con dicha información.
- Registro de Validaciones: Base de datos muestra de registro de validaciones simulando los resultados obtenidos en los productos creados para este ejercicio.

3.4. Etapas del proceso de aplicación/intervención

Considerando los tiempos meta para el desarrollo del proyecto con sus tres pruebas concepto y los recursos disponibles, este se dividió en 3 etapas principales como se explica a continuación:

3.4.1. Etapa 1: Antecedentes

El enfoque de esta primera etapa fue establecer un grupo de trabajo interno, alinear la idea general del funcionamiento del nuevo sistema y la definición del proyecto con sus pruebas de concepto.

En la selección del grupo de trabajo interno se eligieron disciplinas principales como se menciona en la sección 3.3. (Ingeniería mecánica, CAD IT, PDMLink IT y simulaciones mecánicas.). Para poder tener a los integrantes, se les presentó el concepto general del proyecto (“Figura 6”) y el objetivo principal (Sección 1.3.) a cada uno de los encargados de grupo, generando así el interés de cada disciplina, pudiendo así negociar el préstamo de la persona a participar. De esta manera se logró el involucramiento de los integrantes expuestos también en la sección 3.3., nombrado en este artículo como “Equipo Definición”.

Una vez seleccionado al “Equipo Definición”, se hizo una alineación con todo el equipo para revisar cual era la visión de los integrantes de cómo podía funcionar el “*Agente de Contacto*” (Figura 7), pesado como un sistema interactivo con los diseñadores e interconectado a todos los niveles (madurez de diseño e información de referencia). Así se creó un primer borrador de reglas simples de funcionamiento del sistema.

El “Equipo Definición” hizo un análisis de tiempos y recursos potenciales para poder realizar las pruebas de concepto 1 y 2.

En primera instancia, se realizó una comparación del sistema de diseño actual contra la propuesta (“Figura 8”). Considerando a los miembros involucrados, programas y herramientas necesarios para realizar la prueba de concepto 1, se tomó en cuenta lo siguiente:

- Sistema Windchill PDMLink: Sistema para almacenar modelos 3D. También fue el sistema utilizado para hacer la interconexión entre todos los componentes (modelos 3D y documentos varios).
- 4 diseñadores mecánicos: Se definió a 4 diseñadores como necesarios (dos equipos), pensando el primero como el iniciador del diseño y posteriormente simulando su salida del proyecto, siendo entonces reemplazado por el segundo diseñador.
- Característica compartida de diseño (muestra de “Agente de Contacto” -disponibilidad y acceso a la información-): Se creó una guía de anclaje como la característica a compartir. Para la utilización de esta característica en los diferentes modelos, se utilizó una técnica llamada “Power Copy” (*Managing PowerCopies, s/f*)
- Geometría simple para realizar: Se definió como esta geometría una carcasa a la cual se le agregaron dos guías de anclaje, como la mencionada en el punto anterior, pensando en que los diseñadores intervinieran, por participación, un máximo de 4hrs.
- Programa CAD: El programa de CAD utilizado fue Catia V5 en su liberación 18, al ser el programa usado por la mayoría de los integrantes de área.

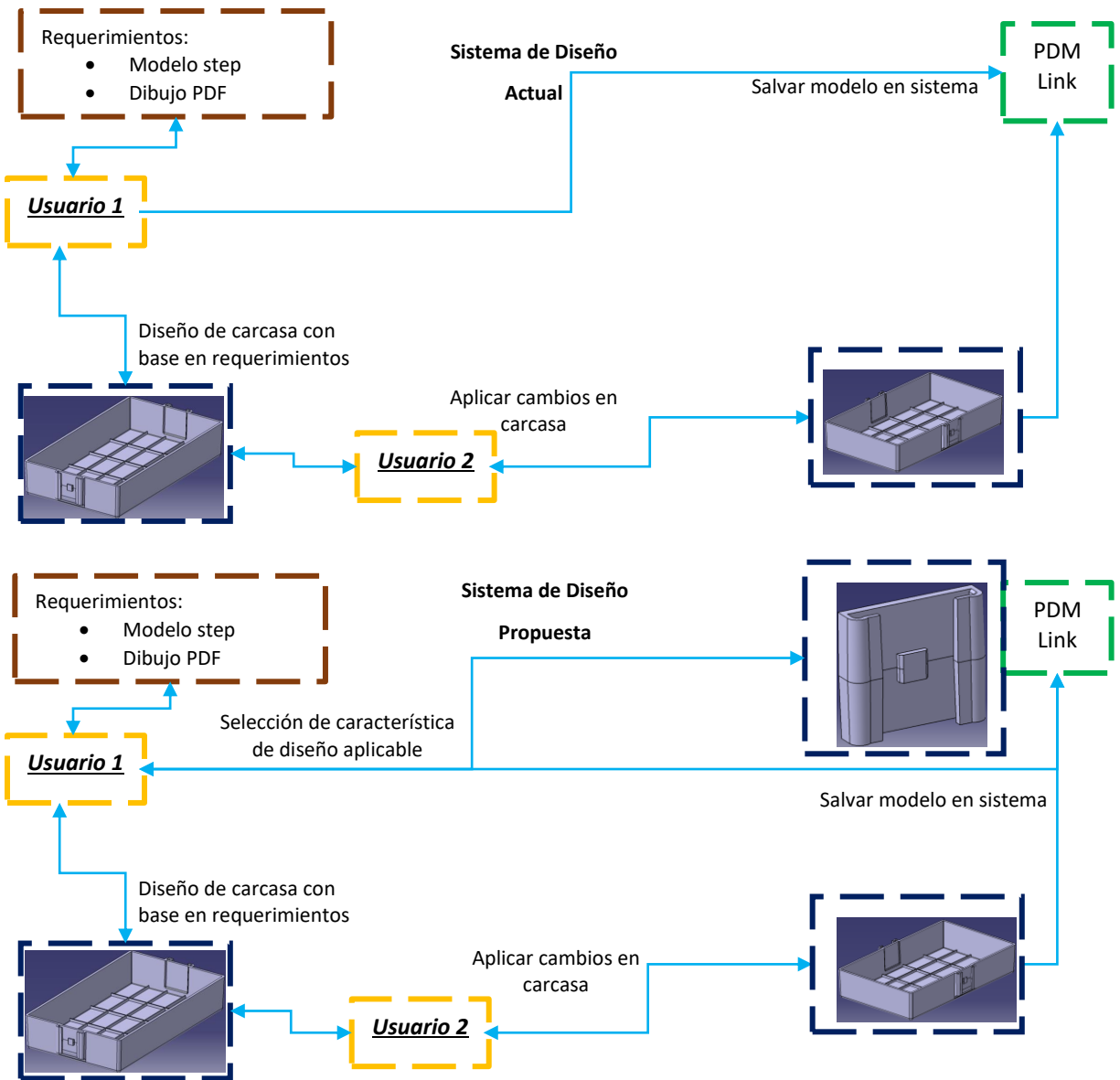
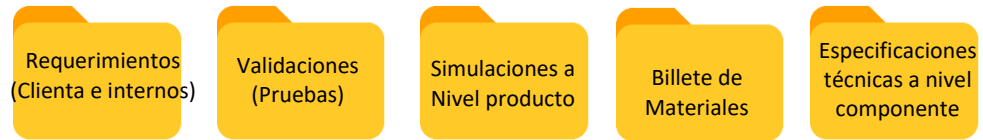
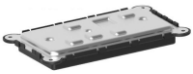


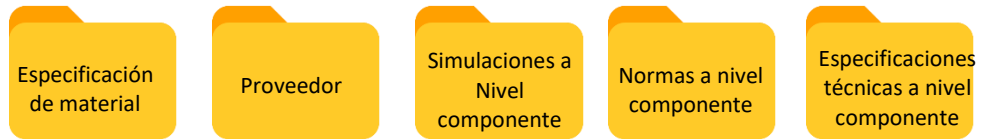
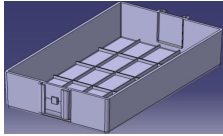
Figura 8: Sistema de Diseño Actual vs Propuesta

Las consideraciones tomadas para la prueba de concepto 2 fueron: Lograr crear una relación directa entre los niveles de diseño y su respectiva información de referencia (Figura 9), mejorar el flujo de esta información de un proyecto a otro y retroalimentar al sistema para robustecer las características de diseño reutilizables (Figura 10).

Nivel Producto Final



Nivel Componente



Nivel Característica

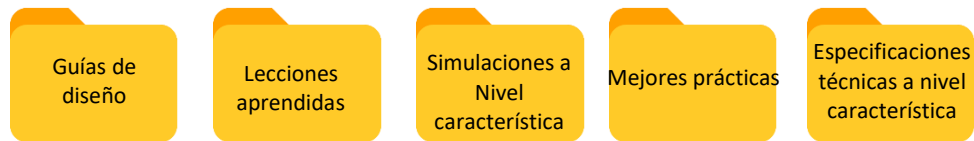
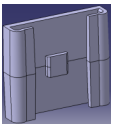


Figura 9: Niveles de diseño e información de referencia

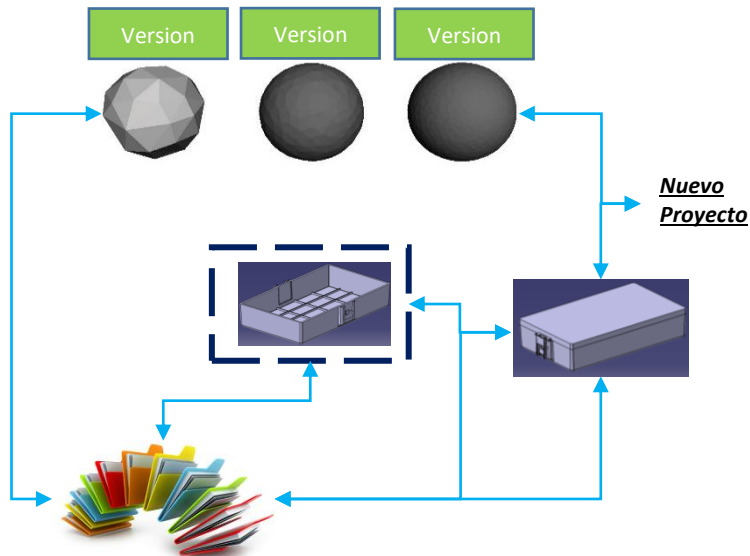


Figura 10: Interconectividad, flujo de información y retroalimentación del sistema

Finalizando esta etapa, se creó un diseño de experimentos factorial 2^2 con dos réplicas, como el mencionado en la sección 3.1.1. Esto con la finalidad de poder generar la información mínima requerida para así poder tener un valor estadístico del ejercicio.

3.4.2. Etapa 2: Desarrollo de pruebas de concepto 1 y 2

Teniendo ya el diseño de experimentos y los requerimientos preparados, se hizo la presentación del experimento para la prueba de concepto 1 a los cuatro diseñadores seleccionados. Se les explicó cuál era la intención del experimento y se les dio un entrenamiento para el uso de los “*Power Copy*”.

En el desarrollo del experimento se crearon sesiones de trabajo con duración de 2hrs, teniendo mejor control sobre los tiempos de trabajo efectivos y evitando afectaciones en los resultados por distracciones de terceros. En estas sesiones se ejecutó el ejercicio de acuerdo con la secuencia del experimento.

Para conocer los alcances de la interconectividad del sistema a todos sus niveles, se generó información de manera representativa para cada uno de los niveles de diseño mencionados anteriormente (caracas y guía de anclaje) y se elaboró el tercer nivel mediante un ensamble únicamente representativo.

El objetivo de esta fase fue analizar la factibilidad de relacionar los modelos 3D con sus diferentes etapas de madurez. Normalmente se generan automáticamente las conexiones entre partes y ensambles, aunque en este caso se agregó el tercer nivel, como lo es la característica compartida. Esto hablando solo de información 3D.

Sobre la documentación se quiso saber el alcance del tipo de formatos que podrían generarse o ligarse al sistema. Además, analizar el manejo de versiones de la información generada directamente en el sistema (PDMLink) y de la información proveniente de las interconexiones o ligas generadas, para saber si también se podría ir del documento al modelo y del modelo al documento.

3.4.3. Etapa 3: Reporte de resultados pruebas de concepto 1 y 2

Habiendo terminado el desarrollo del experimento, los resultados fueron vaciados en Minitab para su análisis, utilizando los resultados obtenidos durante el desarrollo del experimento (prueba de concepto 1) y así saber si hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los dos sistemas propuestos.

Considerando importante saber también, más allá de los números, cuál fue la percepción de los diseñadores ante el uso de un sistema contra otro e identificar si se generó una motivación de buscar

nuevas maneras de trabajo y así poder cambiar la manera de cómo se desarrollan los proyectos, al final de la prueba de concepto 1 se le hizo una entrevista a cada uno de los participantes.

La entrevista también funcionó para saber sus opiniones acerca del manejo del sistema y su pensar de cómo este debería de funcionar. Además, se hizo de manera personal, para que la opinión de uno no interfiriera con la del otro, teniendo un verdadero punto de vista de cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos en la prueba de concepto 2 demuestran la capacidad de Windchill PDMLink de poder relacionar la información de referencia de diseño al modelo 3D/2D, ya sea por medio de información generada dentro del mismo sistema o por la información ligada de sistemas externos. En estos resultados sobresale que, a pesar de lograr interconectar el sistema de Windchill PDMLink con sistemas externos, la interconectividad se ve sesgada ya que se pierde una vez que se sale de Windchill PDMLink, logrando solo relacionar la información que se logra vaciar en el mismo sistema. Esta situación da entrada a la prueba de concepto 3.

Los detalles de los resultados obtenidos en las pruebas de concepto 1 y 2 se pueden encontrar en las secciones 4.2.1. y 4.2.2. de este trabajo.

3.4.4. Etapa 4: Desarrollo de prueba de concepto 3

La situación generada en la prueba de concepto 2, donde se muestra un sesgo en el acceso a la información que puede agregar valor a los entregables generados por ingeniería mecánica, durante el desarrollo de productos, provoca buscar una solución donde, más que buscar compilar información de diferentes sistemas y centrarlas en un punto, se puedan relacionar todos los sistemas involucrados en el diseño de componentes mecánicos, permitiendo así tener una interconectividad de toda la información contenida en cada uno de los sistemas.

Analizando cómo es que el sistema de Windchill PDMLink estructura y acomoda la información de diseño (materiales, modelos 3D, dibujos de ingeniería e información de referencia), y las opciones que tiene para generar reportes, se pudo reconocer el potencial de estos reportes para generar bases de datos con las propiedades necesarias para que los usuarios (área de ingeniería mecánica) encuentren en esta base de datos los detalles suficientes para realizar una consulta completa de la información contenida en el producto, disponible dentro de Windchill PDMLink.

Este análisis abrió la pregunta de saber si era posible también poder extraer información de los otros sistemas por medio de bases de datos. Para hacer la prueba de concepto se consideraron solo dos sistemas adicionales que fueron WISDOM y el Registro de Validaciones, mencionados en la sección 3.3.

En el caso del Registro de Validaciones fue sencillo poder incluir la información ya que esta es generada en un archivo de Excel, permitiendo que por el mismo formato este registro represente por si solo la base de datos necesaria para agregar este sistema a la prueba.

Por su parte, WISDOM en Continental es la base de datos interna para regulaciones técnicas legales, estándares nacionales e internacionales, así como estándares técnicos internos (Continental Automotive, s/f-b). La interfaz de este sistema permite acceder a las carpetas administradas centralmente. En esta parte arroja todas las carpetas centrales que existen y número de documentos por carpeta, teniendo la opción de exportar toda esta información en un Excel y de esta manera permitiendo tener el primer nivel de la base de datos de WISDOM. Es posible entrar a cada una de las carpetas, poder ver los documentos que contiene y también generar otro Excel con la información de cada una de las carpetas. Acotando la información para el desarrollo de la prueba de concepto, solo se generaron las bases de datos de 5 carpetas centrales, teniendo así un segundo nivel de la base de datos con el detalle de las carpetas seleccionadas.

Sobre Windchill PDMLink, utilizando la metodología de *Product Structure*, se generaron 4 ensambles y las partes de cada uno de ellos (dos partes por ensamble), agregando en cada uno su información de referencia (modelo 3D, dibujo de ingeniería y documentos varios). Aprovechando los reportes que se permiten crear se pudo generar la tercera base de datos requerida para esta prueba de concepto.

Una vez teniendo las 3 bases de datos iniciales se creó un sistema de grafos para conectarlas. No se optó realizar el análisis por medio de un sistema de bases relacionales ya que estas no permiten identificar claramente la relación que tiene cada uno de los componentes de una base de datos con otro, tampoco es posible darle una característica a la relación (sea el nombre o alguna ponderación que pueda mostrar si una relación es más fuerte que otra), ni hacer análisis a profundidad de la información considerando opciones que involucren dicha característica. (Robinson et al., 2015).

Considerando cómo es que la información venía estructurada y pensando en una implementación progresiva dentro de la empresa, ya que se cuenta con programas para el manejo de bases de datos relacionales como lo es *PowerBI* (Microsoft, 2021), se decidió estructurar las bases de datos de manera relacional, a pesar del uso de grafos para la conexión de las bases de datos en este ejercicio (con grafos no es mandatorio un sistema relacional).

Tomando la decisión de generar la estructura de bases de datos de manera relacional, fue necesario realizar una reorganización y limpieza con las bases de datos extraídas de Windchill PDMLink y WISDOM, teniendo como resultado 4 bases de datos de Windchill PDMLink, dos bases de datos de WISDOM y dos bases de datos de validaciones

Con esta limpieza y reorganización, la información quedó relacionada de la siguiente manera:

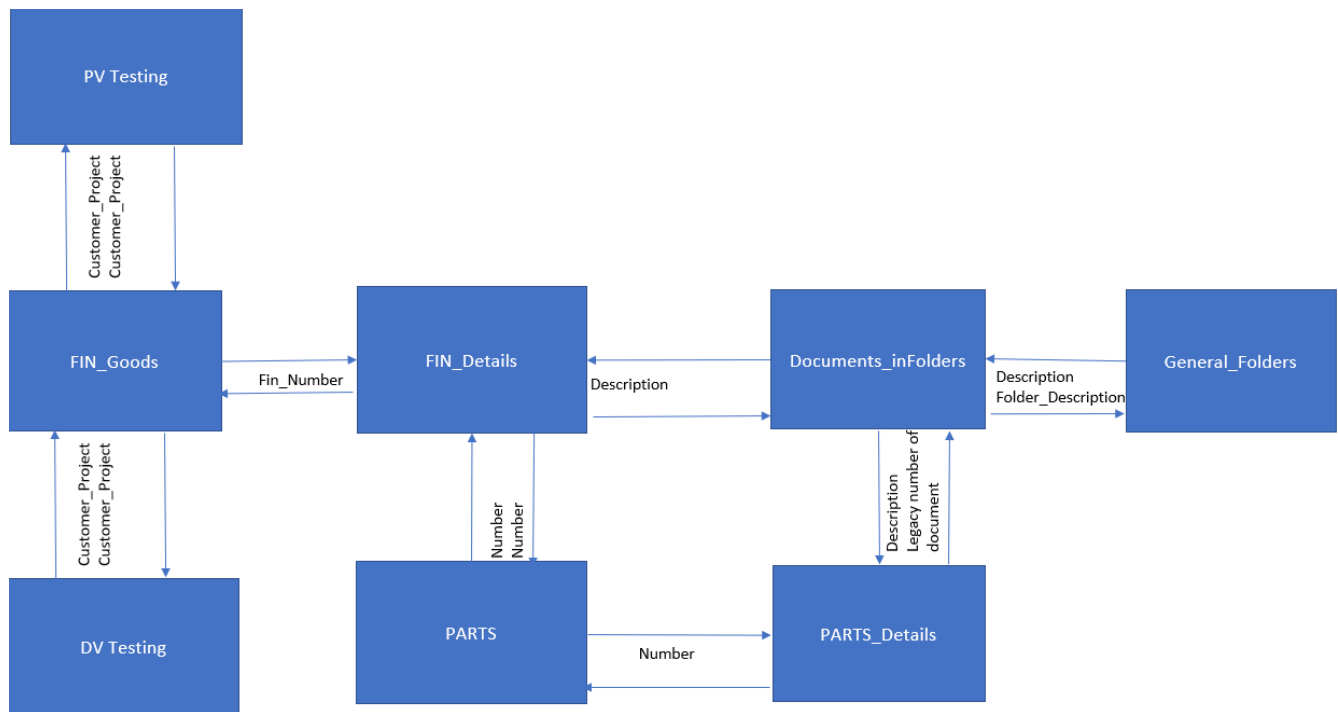


Figura 11: Diagrama de relaciones para creación de grafo

3.4.5. Etapa 5: Reporte de resultados pruebas de concepto 3

De acuerdo a la teoría de modelado de datos con grafos (Robinson et al., 2015) y utilizando el modelo de gráfico de propiedades etiquetadas (*The labeled property graph model*); que está compuesto por nodos, relaciones, propiedades y etiquetas; se tomó la estructura generada en la “Figura 11” como la base para la creación del grafo.

Toda la importación de la información de las bases de datos fue codificada, para su importación a neo4j, con el programa de *Visual Studio Code*.

Teniendo elaborado el grafo, el sistema se probó realizando algunas consultas y verificando que la información desplegada fuera correcta. También, aprovechando las bondades del programa, se pudo corroborar la interconexión de la información utilizada por medio de “Neo4j Bloom” (Neo4j, 2021b) que permite visualizar todo el grafo (nodos, relaciones, etiquetas y propiedades).

Los detalles de los resultados obtenidos en la prueba de concepto 3 se puede encontrar en la sección 4.2.3. de este trabajo

3.4.6. Cronograma de trabajo

Tabla 4: Cronograma de trabajo

Etapas de Proyecto	2019	2020		2021								
	8-12	1-5	8-12	1	2	3	4	5	5-7	8	9	
Primera idea de Proyecto												
Etapa 1. Fundamentación												
1.1. Evaluación de Oportunidades												
1.2. Matriz del Nuevo Producto												
1.3. Perfil del Nuevo Producto												
Etapa 2. Definición de concepto												
2.1. Módulos y especificaciones												
2.2. Metodología TRIZ												
2.3. Propuestas de Solución												
2.4. Planteamiento de prueba de concepto												
Etapa3 Pruebas de Concepto												
3.1. Antecedentes												
3.1.1. Selección de “Equipo Definición”												
3.1.2. Alineación del Proceso												
3.1.3. Definición de componentes												
3.1.4. Diseño de Experimentos												
3.2 Desarrollo de prueba de concepto 1 y 2												
3.2.1. Presentación de Experimento para prueba de concepto 1												

Sabiendo que durante el desarrollo del experimento haría una curva de aprendizaje entre una corrida y otra, tanto con sistema actual, como con el sistema con librería; un conocimiento de la pieza y sus componentes; pocas repeticiones, y una pequeña muestra (solo dos equipos de dos personas cada uno), cada una de las corridas se consideraron como bloques en el diseño de experimento (dos bloques en total).

3.5. Metas de información

Las metas de la información a obtener fueron poder cuantificar la importancia que tiene el acceso a la información y el reuso de esta en los tiempos de desarrollo, por medio de la interconectividad de la información de referencia con sus respectivos modelos 3D y de los mismos modelos a cualquier nivel de madurez (ensamble, componente, característica), con el último fin de obtener una disminución significativa en los tiempos de desarrollo de componentes mecánicos (reducción del 15% de tiempo relacionado a ingeniería mecánica). Esta interconectividad se buscó a nivel de sistema Windchill PDMLink, logrando con esto una compilación de la información (almacenaje) que agrega valor en el desarrollo de componentes mecánicos, y una interconectividad entre sistemas, expandiendo así la cantidad disponible de información, con un fácil acceso y funcional para los diferentes tipos de usuarios involucrados en el mismo desarrollo de los componentes mecánicos.

Como características cualitativas, la meta fue poder evaluar la interfaz del diseñador usando ambos sistemas de diseño, mostrados en este trabajo. De esta manera se pudieran anticipar situaciones que puedan causar desinterés del nuevo sistema, a pesar de que por tiempos de desarrollo pudiera resultar mejor.

4. Exposición de hallazgos

En este capítulo se presentan los resultados cualitativos y cuantitativos de las pruebas de concepto 1, 2 y 3, así como las conclusiones generadas por los datos obtenidos.

4.1. Sistematización y aplicación de escalas de medición

Retomando el fin de este trabajo que es el de “Disminuir los tiempos y costos de ingeniería asociados a la disciplina de ingeniería mecánica, para la atracción de nuevos proyectos” (sección 1.2.4.) y al “Objetivo principal” (sección 1.3.), el haber desarrollado las tres pruebas de concepto permiten desmenuzar el problema, pudiendo así afrontarlo y asimilarlo desde 3 diferentes perspectivas.

Las pruebas de concepto 1 y 2 se planearon hacer en paralelo aprovechando todos los recursos internos (compañía) disponibles, pudiendo así visualizar el impacto en un corto/mediano plazo dentro de la organización.

Con la prueba de concepto 1, el diseño y análisis de experimentos permite generar una estimación cuantificable del ahorro en tiempos de desarrollo por el hecho de tener accesibilidad a la información y fomentar el reúso.

Corriendo la prueba de concepto 2, en paralelo a la prueba de concepto 1, se puede saber cuánta de la información necesaria para el desarrollo de componentes mecánicos puede ser accesible dentro del sistema de Windchill PDMLink.

Por último, la prueba de concepto 3 permite visualizar el alcance e impacto de expandir la red de información interconectado diferentes sistemas, removiendo las limitaciones de conexión de los sistemas actuales de la empresa (mostrados a lo largo de este trabajo), buscando soluciones fuera del contexto “Empresa”

Sobre valores cualitativos, en la prueba de concepto 1, como se menciona en la sección 3.2., se trata de una entrevista para así conseguir adjetivos que ayuden a calificar el desempeño de los sistemas, mostrados en la “Figura 8”, desde el punto de vista personal de cada usuario y así, poder reconocer factores ajenos al mismo desempeño del sistema (contado en tiempo) que puedan ayudar a identificar problemas potenciales que impidan el cambio de pensamiento en el desarrollo de componentes mecánicos.

4.2. Organización de la información obtenida

Gracias al interés mostrado por cada uno de los encargados de las disciplinas seleccionadas, se logró integrar al “Equipo definición” con 3 ingenieros mecánicos de tres diferentes grupos, una integrante de CAD IT, una integrante de PDMLink IT y un integrante del grupo de simulaciones, como se expone en la sección 3.3.

Junto con este grupo, se lograron establecer en común una serie de reglas simples de cómo se concibe el funcionamiento interactivo de las características compartidas de diseño, para establecer así un punto de partida en el demás desarrollo del trabajo. Estas reglas son las siguientes:

- Toda información de diseño, sus características y documentación deberán de ser visibles para todos los diseñadores.
- Comités locales deberán revisar la información de los modelos 3D y su información de referencia propuesta, junto con el diseñador, para confirmar que el paquete de información esté completo y pueda ser liberado.
- Todo modelo 3D liberado deberá de estar interconectado con su información de referencia (requerimientos, especificaciones, guías de diseño, buenas prácticas, lecciones aprendidas, simulaciones o cualquier información que le agregue valor).
- Cualquier cambio en la información liberada deberá de ser controlada por cambios de versión, resaltado la razón del cambio y marcando las áreas afectadas cuando aplique.
- Toda sugerencia, dentro o fuera de la disciplina de ingeniería mecánica, que pueda implicar una mejora deberá de ser escuchada y analizada.
- Todas las características compartidas de diseño deberán de ser adaptativas con la intención de poder ajustarse al modelo final o de implementar nuevas funcionalidades dentro de la misma característica.
- Las reglas simples serán reevaluadas al menos una vez al año para ajustarlas a las necesidades de los grupos de ingeniería mecánica.

Teniendo esas reglas simples se diseñaron los requerimientos para el experimento (la carcasa simple y la guía de anclaje). Estos requerimientos fungieron como la base para el diseño de

experimentos (prueba de concepto 1) y para conocer los alcances de la interconectividad del sistema a todos sus niveles (prueba de concepto 2).

También, las mismas reglas simples sirvieron de referencia en la prueba de concepto 3, buscando siempre simplicidad en la aplicación y actualización de las propuestas.

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas de concepto son los siguientes.

4.2.1. Resultados obtenidos de la prueba de conceto 1

Tomando de base el diagrama de los sistemas mostrados en la “Figura 8”; la información de los factores y niveles de la “Tabla 2”; y el resumen del diseño de experimentos mostrado en la Tabla 3, se ejecutó el experimento completo.

Resultó útil dividir el análisis de los resultados por intervención de usuario (“Usuario 1” y “Usuario 2”) y resultados totales.

A continuación, se muestran los resultados del diseño de experimentos:

Usuario 1:

Tabla 5: Tiempos "Usuario 1"

Tiempos "Usuario 1"						
Orden Estándar	Orden de Corridas	Puntos Centrales	Bloques	Sistema	Equipo	Tiempo (minutos)
1	1	1	1	Actual	Usuario 1	209
8	2	1	1	Propuesta	Usuario 1	138.5
7	3	1	1	Actual	Usuario 1	211
6	4	1	1	Propuesta	Usuario 1	77
4	5	1	2	Propuesta	Usuario 1	50.5
5	6	1	2	Actual	Usuario 1	80
3	7	1	2	Actual	Usuario 1	63
2	8	1	2	Propuesta	Usuario 1	48.5

Tabla 6: Análisis de varianza "Usuario 1"

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	28138.6	7034.7	5.03	0.108
Blocks	1	19355.3	19355.3	13.84	0.034
Linear	2	8013.1	4006.5	2.86	0.201
System	1	7719.0	7719.0	5.52	0.100
Team	1	294.0	294.0	0.21	0.678
2-Way Interactions	1	770.3	770.3	0.55	0.512
System*Team	1	770.3	770.3	0.55	0.512
Error	3	4195.3	1398.4		
Total	7	32334.0			

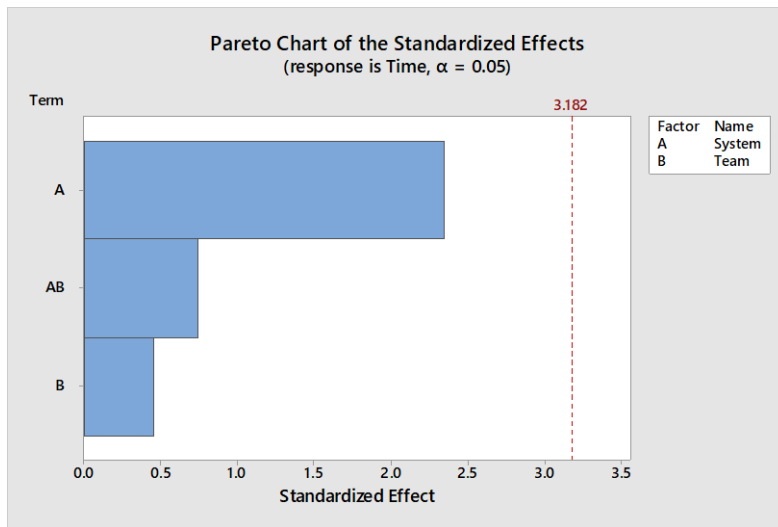


Figura 12: Pareto "Usuario 1"

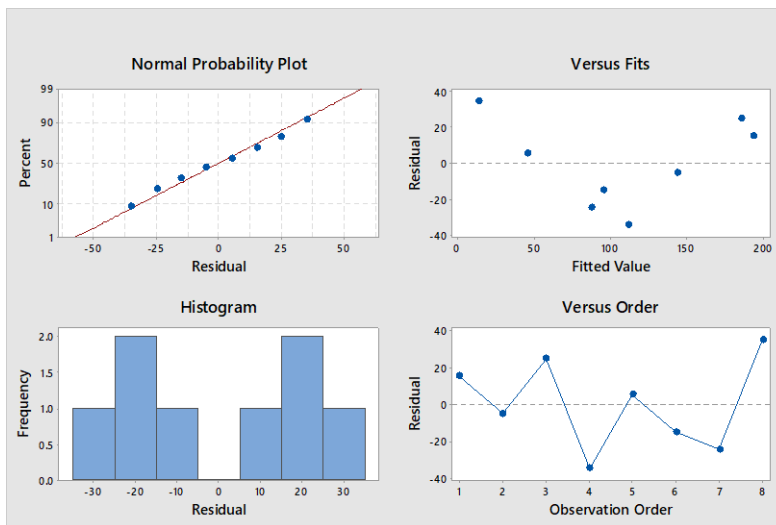


Figura 13: Gráfica de residuales "Usuario 1"

Analizando los resultados con un nivel de confianza del 95%, una R^2 ajustada del modelo del 69.72%, un valor de $P > 0.05$ de todos los factores y valor P del bloque de 0.034, se concluye que ninguno de los factores, Sistema o Equipo, son estadísticamente significativos en el “Usuario 1”. A pesar de eso, el bloque (considerado como bloque si fue la primera o segunda intervención en cada uno de los sistemas) sí tiene un efecto estadísticamente significativo.

Buscando encontrar la razón por la cual el bloque resultó estadísticamente significativo, se realizaron entrevistas a los “Usuario 1”. Ambos usuarios comentaron que la segunda vez que realizaron el ejercicio ya tenían mecanizados los pasos a seguir, pudiendo ser esta una de las razones para encontrar una diferencia significativa entre los sistemas al 95% de nivel de confianza.

Por cuestiones de tiempo y recursos no se pudieron realizar mayor cantidad de repeticiones. El hecho de haberlo realizado más rápido por mecanizar los pasos demuestra que la utilización de características comunes de diseño realmente tiene potencial de impacto positivo en tiempos de desarrollo, debido a que esta mecanización estaría disponible desde un inicio para implementarla en un componente nuevo. En los resultados de la entrevista se revisará más a fondo esta situación.

Usuario 2:

Tabla 7: Tiempos "Usuario 2"

Tiempos “Usuario 2”						
Orden Estándar	Orden de Corridas	Puntos Centrales	Bloques	Sistema	Equipo	Tiempo (minutos)
1	1	1	1	Actual	Usuario 2	184
8	2	1	1	Propuesta	Usuario 2	52
7	3	1	1	Actual	Usuario 2	149.5
6	4	1	1	Propuesta	Usuario 2	153
4	5	1	2	Propuesta	Usuario 2	87
5	6	1	2	Actual	Usuario 2	206
3	7	1	2	Actual	Usuario 2	95
2	8	1	2	Propuesta	Usuario 2	108

Tabla 8: Análisis de varianza "Usuario 2"

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	16113.1	4028.28	3.87	0.148
Blocks	1	225.8	225.78	0.22	0.673
Linear	2	15818.3	7909.16	7.59	0.067
System	1	6873.8	6873.78	6.60	0.083
Team	1	8944.5	8944.53	8.58	0.061
2-Way Interactions	1	69.0	69.03	0.07	0.814
System*Team	1	69.0	69.03	0.07	0.814
Error	3	3126.3	1042.11		
Total	7	19239.5			

Tabla 9: Análisis de varianza "Usuario 2" (Sin Bloques)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	15887.3	5295.78	6.32	0.053
Linear	2	15818.3	7909.16	9.44	0.031
System	1	6873.8	6873.78	8.20	0.046
Team	1	8944.5	8944.53	10.67	0.031
2-Way Interactions	1	69.0	69.03	0.08	0.788
System*Team	1	69.0	69.03	0.08	0.788
Error	4	3352.1	838.03		
Total	7	19239.5			

Tabla 10: Análisis de varianza "Usuario 2" (Sin valores no significativos)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	15818	7909.2	11.56	0.013
Linear	2	15818	7909.2	11.56	0.013
System	1	6874	6873.8	10.05	0.025
Team	1	8945	8944.5	13.07	0.015
Error	5	3421	684.2		
Total	7	19239			

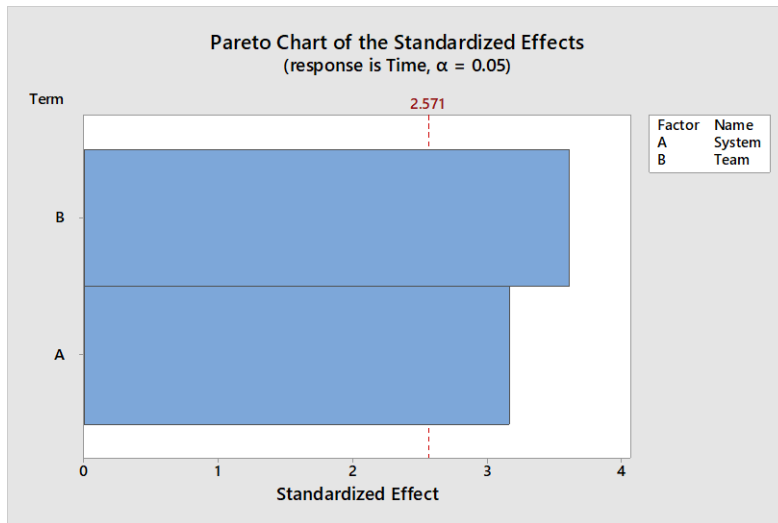


Figura 14: Pareto "Usuario 2"

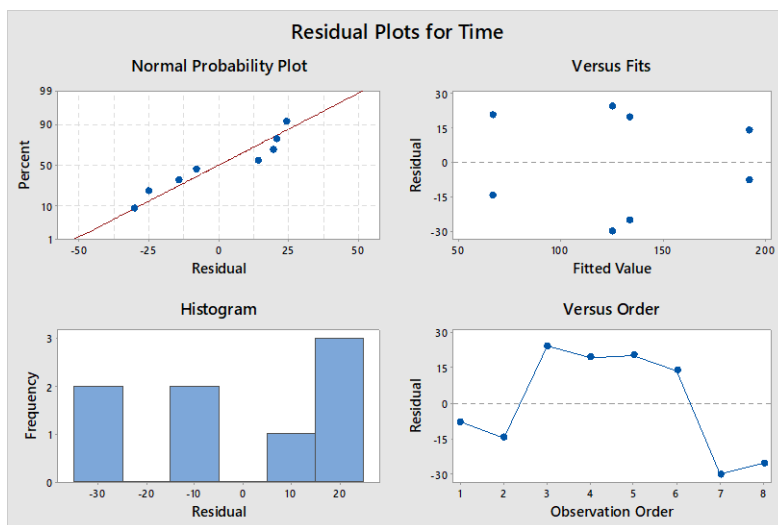


Figura 15: Gráfica de residuales "Usuario 2"

Con un grado de confianza del 95% los bloques no son significativos (Tabla 8). Es por eso por lo que se remueven los bloques y se vuelve a correr el análisis del experimento. En la "Tabla 9" se observa que sí hay valores significativos y no significativos, por lo que se corre una vez más el análisis removiendo los valores no significativos (Tabla 10).

Con una R^2 ajustada final del modelo del 75.11%, un valor de $P < 0.05$ en el sistema y el equipo ($PSistema = 0.025$, $PEquipo = 0.015$), se concluye que tanto el Sistema como el Equipo (Usuario 2) son estadísticamente significativos.

Para completar el análisis, se evaluó cuál era la mejor combinación entre Usuario 2 y sistema para reducción de tiempo, obteniendo como mejor opción al Usuario 2-Equipo 2 y el sistema nuevo.

Esto demuestra que el sistema 2 facilita significativamente el ajuste de los diseños con un 95% de nivel de confianza.

Resultados Totales:

Tabla 11: Resultados Totales

Tiempos Totales						
Orden Estándar	Orden de Corridas	Puntos Centrales	Bloques	Sistema	Equipo	Tiempo (minutos)
1	1	1	1	Actual	Usuario 2	393
8	2	1	1	Propuesta	Usuario 2	190.5
7	3	1	1	Actual	Usuario 2	360.5
6	4	1	1	Propuesta	Usuario 2	230
4	5	1	2	Propuesta	Usuario 2	137.5
5	6	1	2	Actual	Usuario 2	286
3	7	1	2	Actual	Usuario 2	158
2	8	1	2	Propuesta	Usuario 2	156.5

Tabla 12: Análisis de varianza "Resultados Totales"

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	60219	15055	6.87	0.073
Blocks	1	23762	23762	10.85	0.046
Linear	2	35156	17578	8.03	0.062
System	1	29161	29161	13.31	0.036
Team	1	5995	5995	2.74	0.197
2-Way Interactions	1	1301	1301	0.59	0.497
System*Team	1	1301	1301	0.59	0.497
Error	3	6571	2190		
Total	7	66790			

Tabla 13: Análisis de varianza "Resultados Totales" (Sin valores no significativos)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	52923	26462	9.54	0.020
Blocks	1	23762	23762	8.57	0.033
Linear	1	29161	29161	10.51	0.023
System	1	29161	29161	10.51	0.023
Error	5	13867	2773		
Total	7	66790			

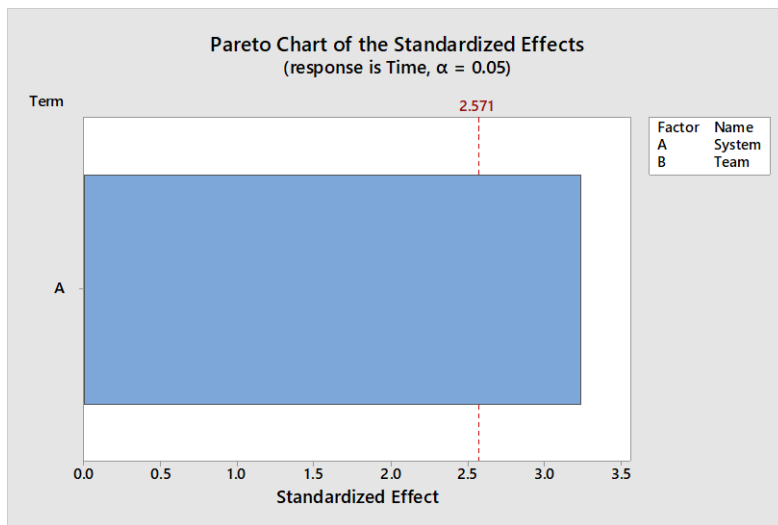


Figura 16: Pareto "Resultados Totales"

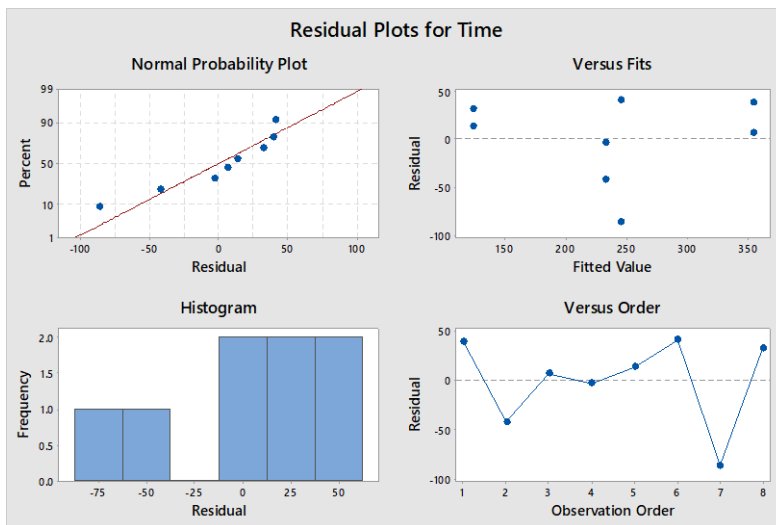


Figura 17: Gráfica de "Resultados Totales"

Analizando los resultados con un nivel de confianza del 95% se puede observar que sí hay factores significativos, incluidos los bloques, por lo que se hace un segundo análisis removiendo los factores no significativos.

Con una R^2 ajustada del modelo del 70.93%, un valor de $P < 0.05$ en el sistema y los bloques ($PSistema = 0.023$, $PBloques = 0.033$), se concluye que tanto el sistema como los bloques son estadísticamente significativos. Esto quiere decir que, considerando todo el ejercicio, el sistema sí tiene influencia significativa en los tiempos de desarrollo, al igual que el bloque (primera o segunda intervención). Esta influencia del bloque era de esperarse por la curva de aprendizaje de los usuarios tanto en la creación de las geometrías del ejercicio, fuertemente marcado en el Usuario 1, como en el uso de la librería.

Para completar el análisis, se evaluó cuál era la mejor combinación total para reducción de tiempos, obteniendo como mejor opción los siguientes resultados.

Solución óptima:

Tabla 14: Optimización de resultados (mínimo de tiempo)

<i>Solution</i>	<i>System</i>	<i>Time Fit</i>	<i>Composite Desirability</i>
1	New	178.625	0.839041
2	Current	299.375	0.366438

El mínimo de tiempo lo tiene el sistema nuevo con una reducción promedio del 40%, por lo que se puede concluir como una opción viable para mejorar los tiempos de desarrollo y no solo eso, también mejora la interactividad entre grupos y la dispersión del conocimiento por medio de las características compartidas de diseño (acceso a la información).

Para contar con valores más precisos se requeriría hacer un mayor número de repeticiones y agregar equipos; sin embargo, por tiempos y recursos no fue posible.

Los datos obtenidos por las entrevistas con cada uno de los participantes de la prueba de concepto 1, mostrados a continuación, respaldan en su forma cualitativa, los valores cuantitativos obtenidos durante el experimento.

La información que se obtuvo de las entrevistas fueron pros y contras del sistema actual; pros y contras del sistema nuevo; preferencia de sistema de desarrollo; mejoras en el sistema deseado y

comentarios generales (Magallanes Luna, 2021). A continuación, se revisa más a fondo la situación a partir de los resultados de las entrevistas aplicadas.

Sobre el sistema actual resaltó el comentario de libertad de creación / desarrollo, debido al sentimiento de que, al no haber una estructura, pueden acomodar su información a conveniencia y experimentar con diferentes herramientas del programa de CAD, logrando así desarrollar sus habilidades. En cambio, también se notó que la misma falta de estandarización causa problemas al momento de querer realizar cambios en los diseños, sobre todo cuando los cambios son hechos por terceros. Además, al empezar siempre desde cero en el desarrollo, se considera mayor tiempo en el análisis de referencias o creación de características de diseño no conocidas para el diseñador, pudiendo así perder lecciones aprendidas en la aplicación y dificultando la transmisión de experiencias entre grupos o proyectos.

Con el nuevo sistema se observa como positivo poder tener las características compartidas de diseño a disposición. Además, se reconoce como una “plataforma” útil para compartir los conocimientos obtenidos con el uso de estas características, ahorrando así tiempos en revisiones; resaltando el hecho que los componentes se vuelven modulares y parametrizados; permitiendo hacer cambios con mayor rapidez, independientemente si se conoce el detalle de diseño de la característica.

Por otro lado, los comentarios en contra del nuevo sistema fue que la inversión en generar nuevas características de diseño compartidas será mayor, aunque tendrá un mayor uso y esparcimiento. También resaltó necesidad de entrenamiento de uso y creación de “Power Copy”, ya que son operaciones más especializadas que las utilizadas comúnmente.

En conclusión, el análisis de los datos cualitativos y cuantitativos muestra que, el uso compartido de características de diseño tiene un impacto significativo en los tiempos de diseño, permitiendo compartir experiencias y lecciones aprendidas; facilitando ajustes y modificaciones posteriores. Esto ejemplifica claramente que, el acceso a la información de manera estructurada y sistematizada tiene impactos significativos en los tiempos de desarrollo de producto.

4.2.2. Resultados obtenidos de la prueba de concepto 2

Con el análisis hecho en la prueba de concepto 2 se pudo conocer el alcance real del sistema Windchill PDMLink, identificar sus aplicaciones reales, limitaciones y potenciales de mejora. También

se confirmó que las capacidades del sistema actual son completamente adecuadas para empezar su implementación en proyectos reales.

Dentro de Windchill PDMLink existe un proceso llamado *“Product Structure”* (Continental Automotive, 2021). Este proceso te permite generar artículos de stock que sirven como el repositorio principal. Dentro de este repositorio principal se genera o introduce el modelo 3D y los dibujos de ingeniería. También permite anexar documentación, ya sea directamente adjuntado el archivo o mediante una liga a un contenedor externo (folder compartido, página web, nube).

Al momento de crear ensambles, automáticamente el programa genera la estructura con los niveles de diseño quedando entonces la estructura de la siguiente manera:

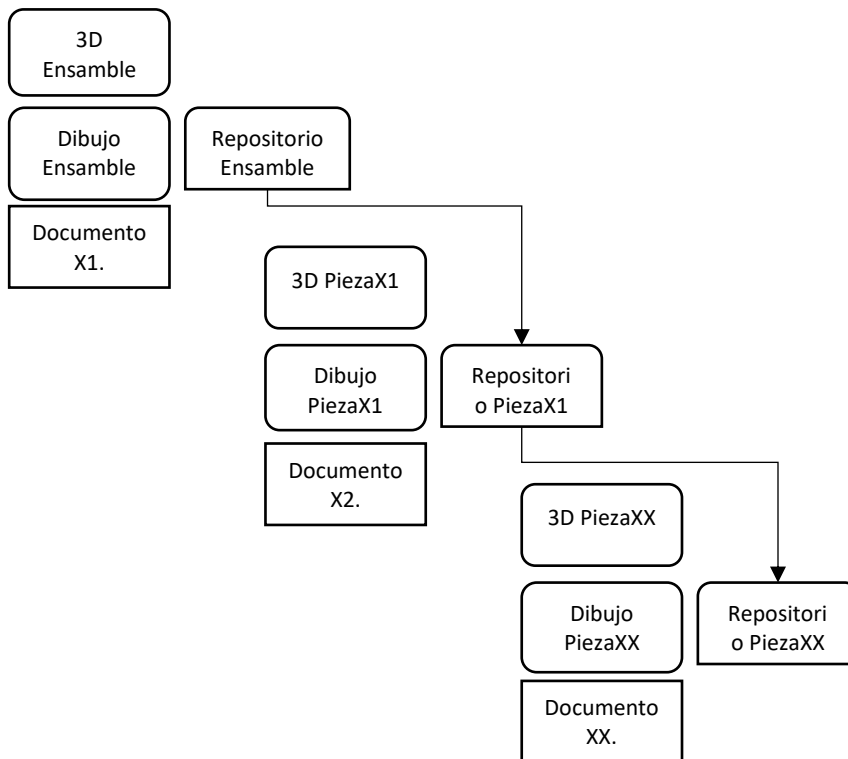


Figura 18: Estructura de ensamble

Como se puede observar en la *“Figura 18”* todos los repositorios son actualmente para piezas o ensambles completos, que quiere decir que solo se cubren dos niveles de diseño: a nivel ensamble y a nivel componente, quedando fuera de la estructura, y por lo tanto de la interconectividad del sistema, el diseño a nivel característica compartida.

Existe la posibilidad de agregar módulos en la estructura para incluir las características compartidas de diseño, aunque por el momento no se cuenta con ellos ni con los recursos para el desarrollo de su inclusión.

Para resolver esa situación, existen otras maneras de interconectar dos modelos 3D diferentes. Esto es posible haciendo una copia con referencia de la característica y pegarla en el modelo 3D donde será utilizado. La diferencia de la copia con referencia contra el “*Power Copy*” es que, el “*Power Copy*” copia todo el árbol de operaciones (en este caso de la característica) al modelo 3D donde será utilizado, sin crear ningún tipo de referencia con la característica compartida original. En cambio, la copia con referencia si genera una liga directa a la característica compartida, creando así una dependencia, sin incluir el árbol de operaciones.

Una vez generada la liga, dentro del modelo 3D donde la característica es utilizada hay opción de desactivar los cambios de la característica y de esta manera permitir que, tanto el modelo como la característica, puedan seguir sus versiones de manera independiente.

La dependencia entre característica y los modelos 3D en donde es usada no es deseable, ya que genera actualizaciones automáticas, reflejando cambios que no necesariamente sean aplicables. Un caso similar sucede con la información de referencia, donde su evolución (cambio de versiones) es independiente a los modelos / productos en los que es utilizada. Por último, puede haber situaciones en las que la información de referencia tiene una afectación directa dentro del diseño, como puede ser un requerimiento, buscando en este caso una dependencia facilitando la comunicación de cambios aplicables al producto.

Con estas opciones se da flexibilidad al sistema y poder de decisión a los equipos e ingenieros en el manejo de toda su información.

De esta manera se pudo entonces generar la interconectividad a los tres niveles de diseño, con su respectiva información de referencia.

Sobre la información de referencia, tanto las ligas como los archivos quedan guardados dentro del sistema Windchill PDMLink, dando la posibilidad de reuso a los integrantes de los grupos de ingeniería mecánica, generando nuevas ligas y por lo tanto interconectividad entre otros productos.

A continuación, en la “Figura 19” y “Figura 20 se muestra cómo se logró la relación/interconectividad desde el ensamble hasta la característica compartida, quedando accesible la información de referencia en el recorrido de búsqueda.

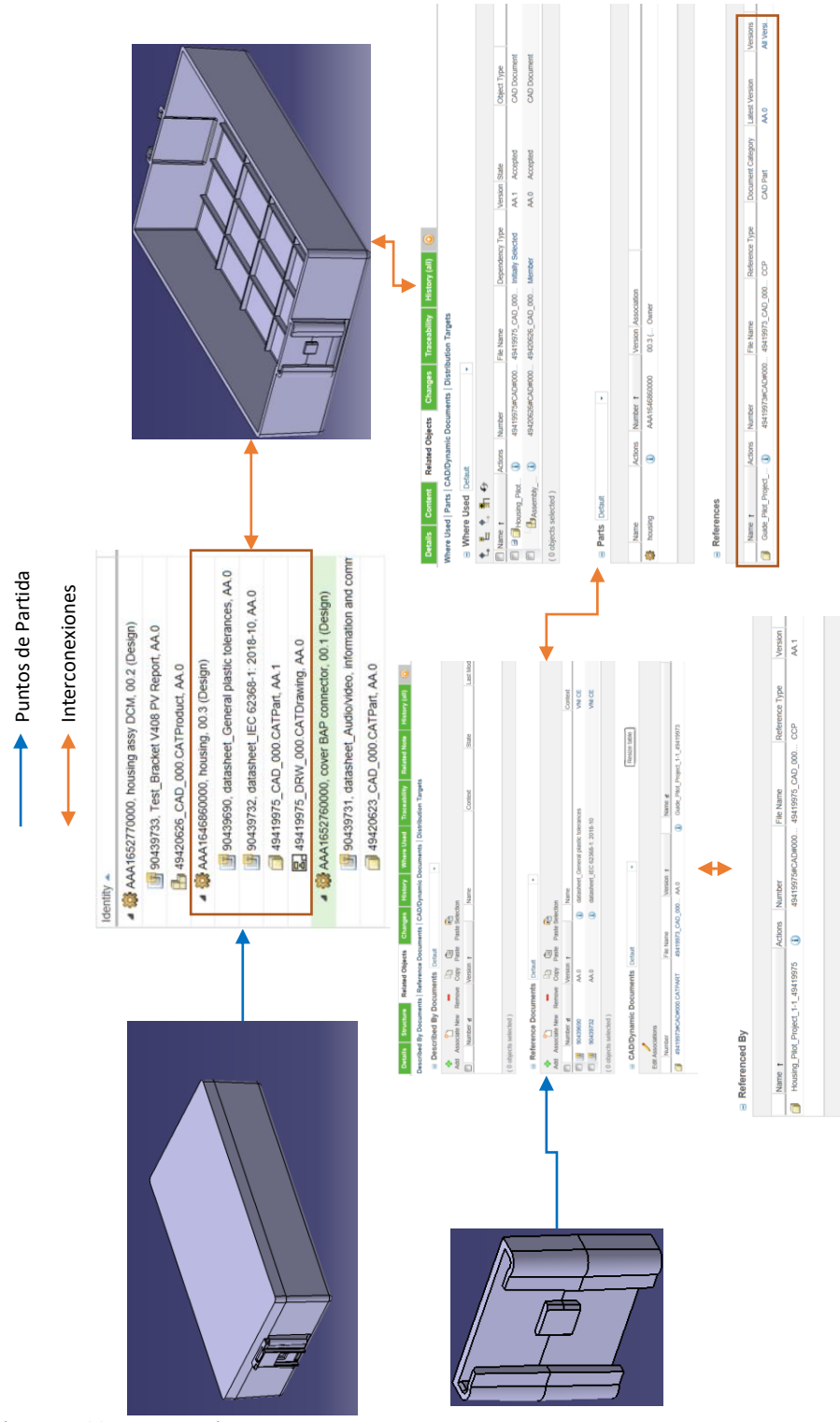


Figura 19: Interconexión Ensamble a Característica

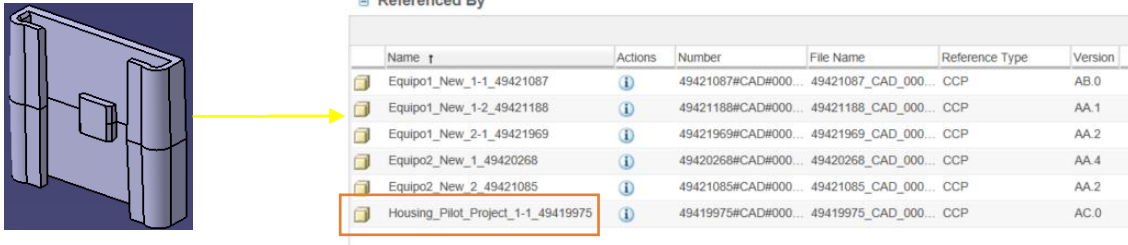


Figura 20: Ejemplo de reúso

De esta prueba de concepto 2 se concluye que, el sistema Windchill PDMLink permite almacenar la información de forma interconectada, permitiendo el reúso de información de referencia; generando paquetes completos de información del proyecto, más allá del modelo 3D y su dibujo de ingeniería.

Sin embargo, se detectaron las siguientes debilidades:

- Límites en interconectividad de la información entre sistemas: Se pierde relación con información de referencia externa (no generada dentro del sistema) una vez estando en el origen de la referencia.
- Dificultad para controlar duplicidad de la información: Windchill PDMLink es un compilador de información, no un buscador como tal, dificultando el reúso de la información y generando retrabajos.
- La creación de la relación entre característica y modelo 3D en donde es usada se hace de manera manual, es confusa la manera de hacerla y propensa a errores.
- No es posible utilizar el potencial contenido en otros sistemas, como es el caso de FLT.

4.2.3. Resultados obtenidos de la prueba de concepto 3

Tomando de referencia la “Figura 11”, donde se muestra la propuesta para la creación del grafo, y una vez habiendo hecho la importación de las bases de datos al programa de neo4j, como se menciona en la sección 3.4.5., se hizo el modelado para el sistema de análisis de grafos, obteniendo el siguiente resultado.

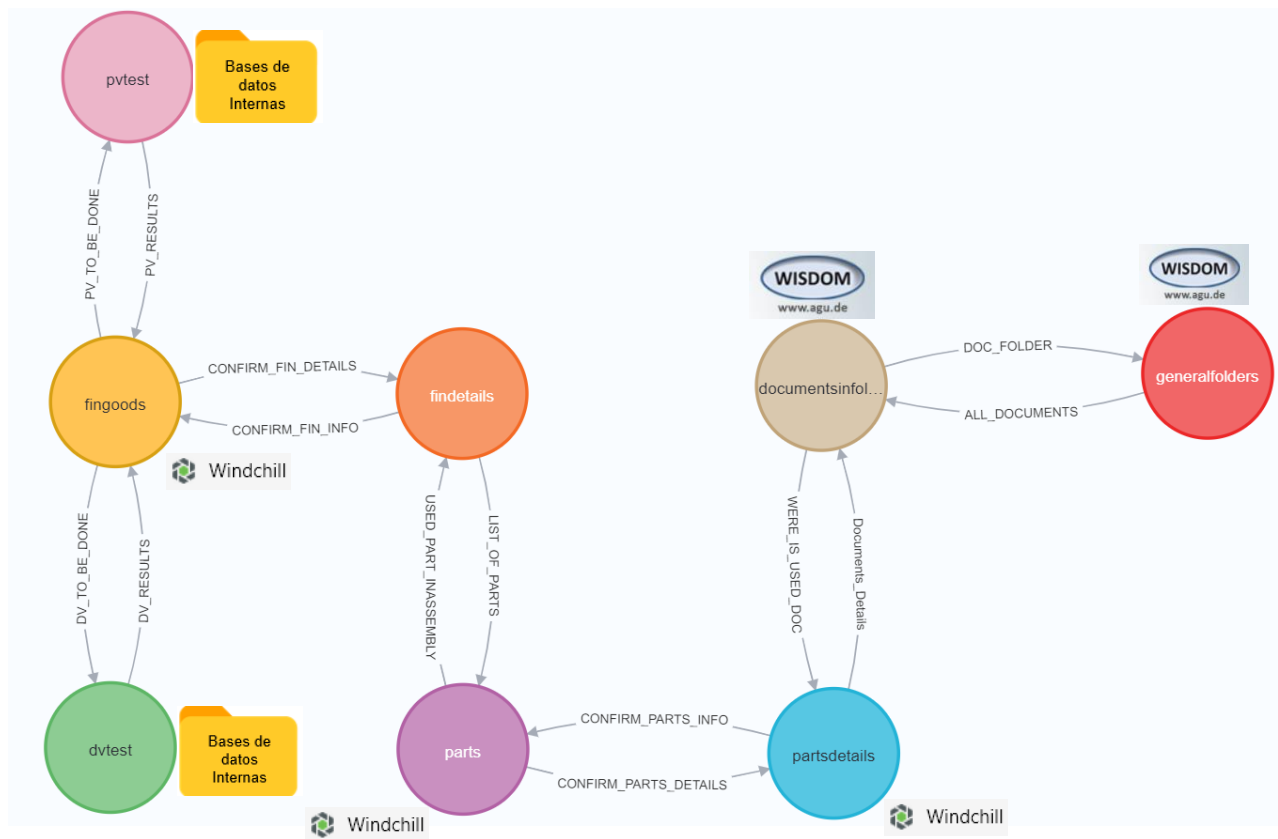


Figura 21: Modelo del grafo y sus bases de datos de referencia

En la “Figura 21” se puede observar el modelo del grafo. Este grafo representa la estructura global del sistema. Aquí se puede identificar claramente la relación que hay entre cada tipo de nodos, agrupados en este nivel con su respectiva etiqueta (*pvtest*, *dvtest*, *fingoods*, *findetails*, *parts*, *partsdetails*, *documentsinfofolder*, *generalfolders*). En el detalle del nodo, cada una de las etiquetas contienen nodos en su interior. La cantidad de nodos depende de la cantidad de datos/información extraída de las bases de datos.

Teniendo presente la ventaja de que los grafos permiten tener una interacción visual los nodos y sus relaciones; facilitando de esta manera el análisis de las interacciones y pudiendo contemplar la interconectividad que existe en el sistema, se pueden mostrar únicamente aquellos que tengan algún punto de contacto (directo o indirecto) relevante para el usuario. Como ejemplo, consideremos consultar únicamente la interacción completa de los 4 ensamble con toda la información relacionada disponible (modelos 3D, dibujos, piezas, documentos y validaciones). Esto se puede hacer por medio de la aplicación de “Neo4j Bloom”, mencionada en la sección “3.4.5.”; se puede filtrar la información, sin necesidad de programar la consulta, facilitando así su uso y, por lo tanto, ampliando la posibilidad

de usuarios. De esta manera, en la “Figura 22” se muestra todos los nodos que tienen algún tipo de relación con los “*fingoods*” (los cuatro ensambles creados en el ejercicio), sin tener ruido de información, como lo serían las carpetas administradas centralmente y sus respectivos archivos (sección 3.4.4) que no están involucrados con estos ensambles.

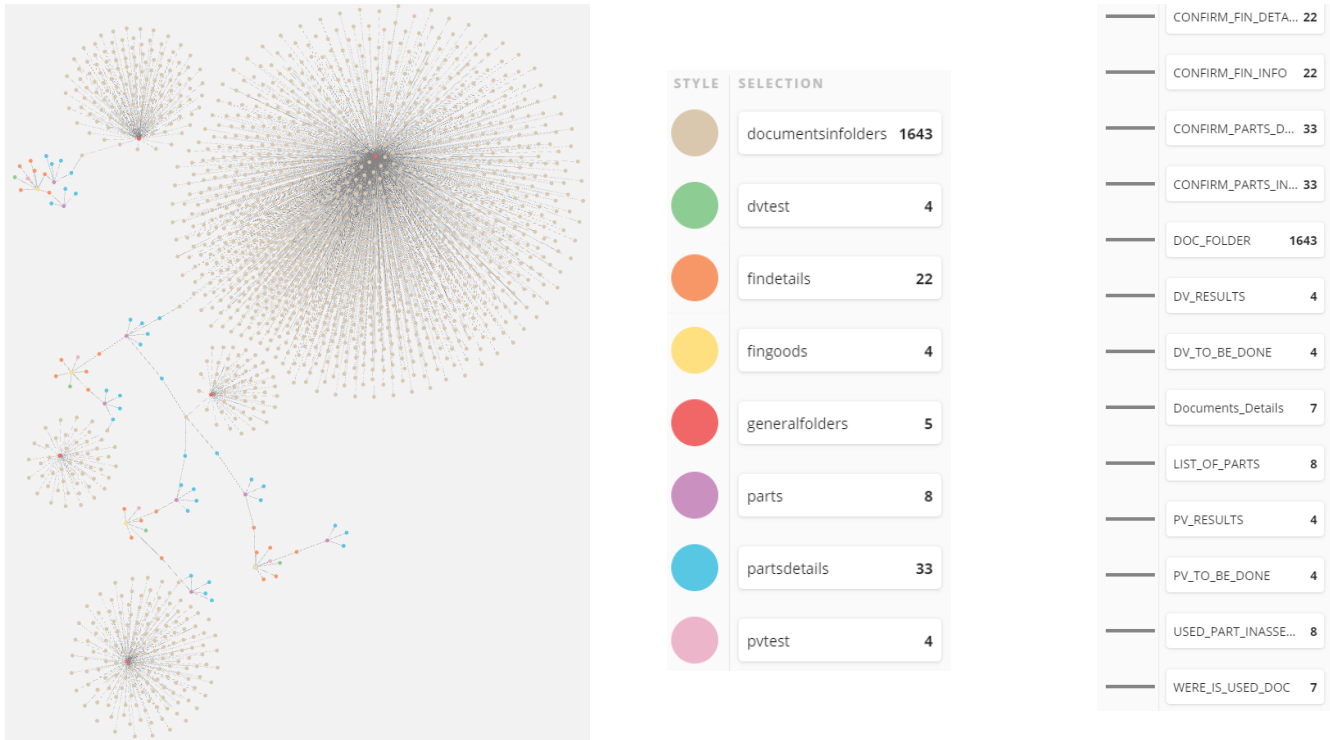


Figura 22: Interconexión de ensamble con información de referencia

La consulta nos permite identificar el número de ensambles, el tipo de relación que existe entre los nodos y la interconectividad de toda la información (Figura 22). Además, nos permite identificar que uno de los ensambles no tiene ningún tipo de relación con el resto, mientras que los otros tres al menos tienen un punto en común (un nodo en común). Este nodo en común representa información que ha sido utilizada en diferentes ensambles (proyectos).

Así, con el sistema propuesto, es posible realizar de manera rápida este tipo de análisis transversales, permitiendo entender cómo se relacionan los distintos proyectos en diferentes niveles para poder aprovechar de forma más eficiente la información recopilada y generada.

Es importante hacer énfasis en que en la vida real un sistema no contendría únicamente cuatro ensambles. Una vez capturada la información de todos los proyectos, el grafo deberá tener una mayor cantidad de ensambles, piezas y especificaciones, por lo tanto, aumentando el número de nodos. Esto

ocasiona que, una consulta como la mostrada en la “Figura 22” pudiera no resultar tan conveniente. Este no impide a un sistema de análisis de grafos realizar búsquedas o consultas más específicas, como se expone a continuación.

Se mencionó en la prueba de concepto 2 la dificultad de identificar información redundante (duplicidad de información), para esto el sistema de análisis de grafos permite identificar si hay información repetida. Para ejemplificar esto, de la base de datos se seleccionó una especificación que se sabe fue utilizada en más de una pieza. Dadas las diferentes opciones disponibles en neo4j, esta consulta se puede hacer y mostrar de dos maneras: hacerla directamente en el grafo o por medio de consulta codificada; mostrar el resultado en un grafo o en una tabla. Los resultados obtenidos son los siguientes.

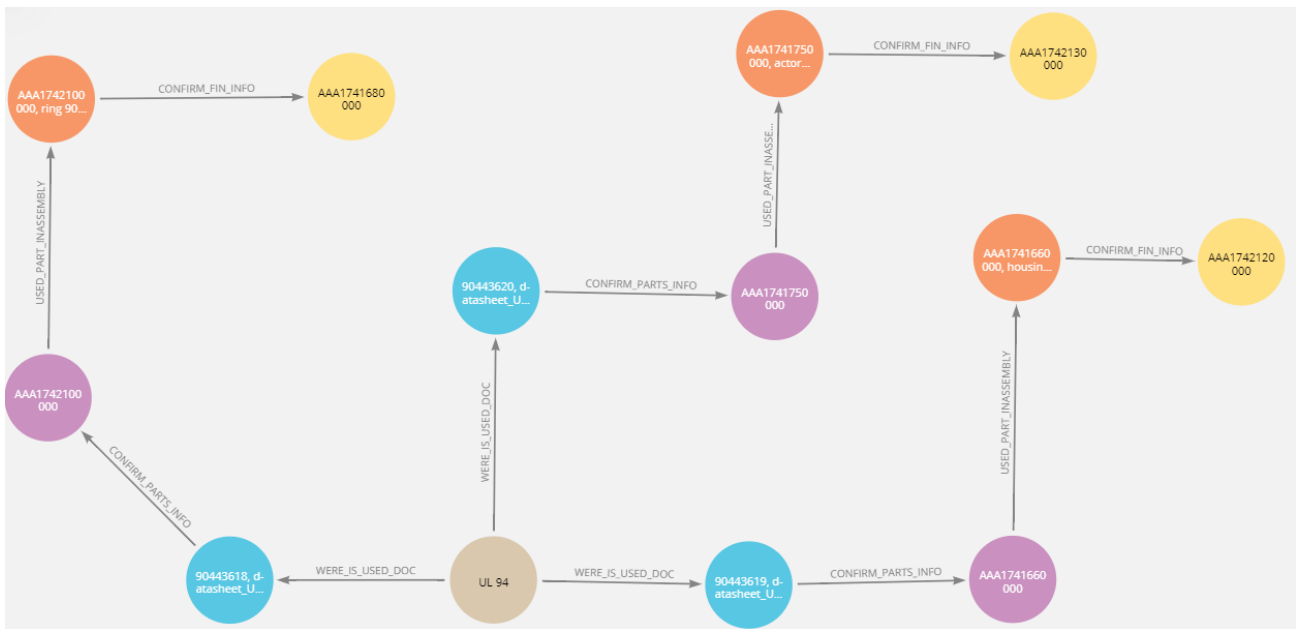


Figura 23: Grafo de consulta información repetida

DocNumber	LocalNumber	PartNumber	PartName	AssemblyNumber
"UL 94"	"90443618"	"AAA1742100000"	"ring 9005 Sub-Part2"	"AAA1741680000"
"UL 94"	"90443619"	"AAA1741660000"	"housing 3022 TRN_PS"	"AAA1742120000"
"UL 94"	"90443620"	"AAA1741750000"	"actor housing"	"AAA1742130000"

Figura 24: Tabla de consulta información repetida

Como se puede observar en la “Figura 23” y “Figura 24”, la especificación UL 94, proveniente de WISDOM (Figura 21), se ha utilizado en 3 ensambles (nodos amarillos) y se generó un número de parte diferente cada vez que se utilizó (nodos azules). Teniendo la oportunidad de hacer este análisis, el grafo permite reconocer la existencia de la información de un sistema en otro (de WISDOM en Windchill PDMLink, en este caso) y por lo tanto reutilizarla para futuros proyectos, en lugar de generarla de nuevo.

En conclusión, un sistema de análisis de grafos cubre las deficiencias encontradas durante la prueba de concepto 2, permitiendo una interconectividad total entre los componentes mecánicos con su información de referencia (normas y validaciones, para este ejercicio) independientemente del sistema en donde se encuentre la información. Es importante resaltar que se puede agregar información de referencia en distintos tipos de nodos, o en los existentes, volviéndolo un sistema modular, adaptable a las necesidades de los usuarios, expandible a diferente tipo de usuarios, retroalimentado e iterativo. Este sistema se propone como un sistema complementario que, más que reemplazar algún sistema actual dentro de la compañía (Continental Automotive), permita una sinergia entre los sistemas actuales, habilitando la comunicación entre ellos por la interconectividad misma del sistema, y dándole poder de decisión a los usuarios (equipo de ingeniería mecánica en este caso).

4.3. Impacto de la estrategia en la solución del problema

Con la estrategia seleccionada, habiendo realizado las pruebas de concepto 1, 2 y 3, cómo se puede observar en los resultados expuestos en las secciones 4.2.1., 4.2.2. y 4.2.3, se puede demostrar de manera clara el beneficio del uso de características compartida de diseño en los tiempos de desarrollo, como un ejemplo de la influencia que tiene el acceso a la información en los tiempos de desarrollo de componentes mecánicos. No solo eso, se logró mostrar el potencial que estas características tienen (fracciones de información) de transferir experiencias a los usuarios por medio de la documentación adjunta (interconectividad del sistema).

Además, juntando los resultados de las pruebas de concepto 1 y 2, las características son capaces de contener experiencias propias de su funcionamiento, agregando experiencias y referencias de uso en proyectos reales. De esta manera todos los niveles de diseño se robustecen, porque de una

u otra manera se interconectan con más proyectos o características, que servirán de apoyo, experiencia e impulso a los grupos de ingeniería mecánica para nuevos desarrollos.

Complementando con la prueba de concepto 3, se logra que el modelo 3D, que es el entregable final por parte del grupo de ingeniería mecánica, sea el punto central de acceso al resto de la información de diseño y no solo el fin, consiguiendo movilidad en el acceso a la información gracias a la interconectividad de los sistemas involucrados en su proceso de desarrollo.

4.3.1. Alineación con la estrategia general de la organización

Dentro de la organización (Continental Automotive), este proyecto genera mancuernas importantes con librerías ya existentes en la plataforma de FLT, mencionada anteriormente, porque a pesar de que en ella ya se pueden encontrar requerimientos de referencia y cierto nivel de interconectividad con proyectos en uso, la información sigue dispersa sin tener un punto común de referencia, teniendo entonces la capacidad de convertirse en un tipo de nodo más dentro del sistema de análisis de grafos.

Es aquí donde el proyecto cierra brechas en la interconectividad de la información, identificando su origen y pudiéndola direccionar correctamente a los modelos 3D; siendo capaz de interconectar también los modelos entre sí y de captar el conocimiento creado por los diferentes grupos de ingeniería a cualquier nivel de madurez del diseño, teniendo así un verdadero valor agregado en los modelos 3D generados; dejando de ser una simple representación geométrica de requerimientos; pasando a ser un recopilador de información y experiencias.

5. Discusión final

En este capítulo final se muestran las consecuencias, conclusiones, siguientes pasos y relevancia del proyecto. Se puede encontrar la aplicación y relevancia que se visualiza, basado en los resultados de las pruebas de concepto, en el trabajo diario dentro de “*Continental Automotive*” para el desarrollo de proyectos, dentro del área de ingeniería mecánica.

5.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación

Recapitulando algunos aspectos medulares expuestos en este trabajo como lo son el “La matriz del marco lógico del problema”, sección 1.2.4.; El “Objetivo Principal”, sección 1.3.; este trabajo buscaba una disminución en los tiempos asociados a ingeniería mecánica en un 15%, mediante un sistema interactivo e interconectado, resaltando el reúso de la información.

Gracias a la estrategia de “Sistematización y aplicación de escalas de medición”, sección 4.1., y a los resultados obtenidos en las pruebas de concepto, secciones 4.2.1., 4.2.2., 4.2.3., se pudo mostrar que con un sistema que facilita el reúso a cualquier nivel diseño, interconectando la información entre proyectos y sistemas (Figura 25), es factible pensar en una disminución de tiempos de un 15% en la disciplina de ingeniería mecánica durante el desarrollo de proyectos, tomando solo de referencia que, por el simple reúso de una característica de diseño, como lo expuesto en la sección 4.2.1., alcanza hasta un 40% de disminución en el modelado de un componente mecánico.



Figura 25: Relación del reúso con la interconectividad de la información

Con los resultados obtenidos, dentro de Continental Automotive, se hizo la exposición de hallazgos a diferentes niveles gerenciales, logrando generar interés en los participantes y con esto iniciar el análisis para la asignación de recursos necesarios en el desarrollo del sistema, ya en un ámbito de producción.

5.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes

Para poder tener un sistema completamente funcional es importante poder identificar todos los sistemas y/o herramientas que aportan información de valor en el desarrollo de proyectos e integrar a las otras disciplinas involucradas (al menos por parte de *Hardware* -mecánicos y eléctricos-), logrando de esta manera que no solo el modelo 3D o los entregables de ingeniería mecánica se encuentren completamente relacionados con su información de referencia, sino que se pueda navegar a través de toda la información involucrada en el desarrollo de productos, teniendo así una interconectividad total de la información y los productos.

Una vez que el sistema de análisis de grafos propuesto esté formalizado en la empresa, será importante reevaluar la utilización bases de datos relacionales (al menos en esta aplicación), lo cual permitiría poder aprovechar los beneficios que se tiene en el manejo de bases de grafos, sin la necesidad de la estructura rígida de las bases de datos relacionales, con el uso de llaves primarias y llaves foráneas, teniendo así una mayor flexibilidad en el sistema y dándole la relevancia a las relaciones que existen en la información.

Por último, es realmente importante reconocer y entender la relevancia de las relaciones entre toda la información en el desarrollo de productos y así tener mayor claridad del impacto que puede tener. Por eso, resulta vital la definición de las propiedades que tendrán la relaciones, como puede ser su fuerza, peso/relevancia, calidad; metadatos como tiempo, versión, etc.; identificar claramente su dirección, ya que no en todos los casos es bidireccional. (Robinson et al., 2015). Durante este trabajo solo se propuso un nombre a las relaciones y se establecieron como bidireccionales.

5.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso

Teniendo ya toda la información involucrada para el desarrollo de productos organizada y relacionada, enfocándonos en la información relevante para ingeniería mecánica, este trabajo deja las

bases para implementar técnicas de minería de grafos o *machine learning* que permitan potencializar la información contenida dentro del sistema de análisis de grafos.

Como ejemplo de lo anterior, se proponen los siguientes análisis: comenzando con minería de grafos se pudieran identificar nodos (información) relevantes, ya sea porque se identifiquen por su gran influencia dentro del sistema o como cuellos de botella. Un ejemplo simple de minería de datos, sin necesidad de aplicar algún algoritmo, se puede encontrar “Figura 22” y “Figura 23” donde hay una especificación relacionada a más de un componente. A partir de esta peculiaridad se podría concluir que la especificación sea común en proyectos o sea una especificación especial por el tipo de productos que son. En cualquiera de esos dos casos esa especificación (nodo) sería el de mayor influencia en el sistema. En sistemas con mayor cantidad de nodos y relaciones, en donde las relaciones contengan diferentes propiedades a considerar, es posible que identificar este tipo de relaciones a simple vista no sea tarea fácil. Sin embargo, al tener toda la información dentro del sistema de análisis de grafos, es posible utilizar algoritmos que nos ayuden a identificar esos nodos relevantes y así poder tomar decisiones al respecto. Otro tipo de análisis como “*Clustering*” (detección de comunidades) son posibles, logrando identificar diferentes agrupamientos dentro del sistema, pudiendo así posiblemente identificar similitudes entre diferentes tipos de productos (Needham & Hodler, 2019).

En temas de *machine learning* con minería de datos, se pueden generar matrices de información a partir de extractos de las diferentes bases de datos (diferentes sistemas), seleccionando una variable de respuesta. Estos extractos serán los atributos que se quieran tomar en consideración para conocer su influencia en la variable de respuesta. Asumiendo que una matriz generada contenga un historial suficiente de los atributos que impactan en la variable de respuesta, se pueden empezar a generar predicciones de la variable de respuesta. Esto es posible utilizando algoritmos como el de árbol de decisiones para entrenar al sistema (considerando aprendizaje supervisado) y matriz de confusión para comprobar su efectividad. De esta manera se puede comenzar a predecir, con un porcentaje de confianza, el comportamiento de esta variable (Linoff & Berry, 2011).

En la “Tabla 15” se puede observar un ejemplo del tipo de matriz que se puede obtener con la información utilizada en este trabajo. En este caso, la variable de respuesta es la cantidad de fallas en las pruebas de validación (*PVFailed*), tomando como atributos relevantes a esta variable de respuesta

el cliente (*Customer*), el número de parte (*PartNumber*) y el material de la parte (*Material Part*). Los demás atributos funcionan para darle contexto a la matriz.

Con suficientes datos sería de mucha utilidad saber si habrá problemas en las pruebas de validación (*PVFailed*) considerando los atributos mostrados.

Tabla 15: Matriz de información extraída

<i>JobNumber</i>	<i>FinishGood</i>	<i>Customer</i>	<i>PartNumber</i>	<i>PartName</i>	<i>MaterialPart</i>	<i>PVFailed</i>
JPV001	AAA1741680000	101-00528600	AAA1742100000	ring 9005 Sub-Part2	AL5005	1
JPV001	AAA1741680000	101-00528600	AAA1742010000	housing Sub-Part1	PP-TD20	1
JPV002	AAA1741800000	101-00528600	AAA1742140000	shield case TRN PS	CR340LA 60G60G	2
JPV002	AAA1741800000	101-00528600	AAA1742020000	bracket TRN PS	CR340LA 60G60G	2
JPV003	AAA1742120000	5WK10420	AAA1741990000	speed cup SUBPART	FR4	2
JPV003	AAA1742120000	5WK10420	AAA1741660000	housing 3022 TRN_PS	PP-TD15	2
JPV004	AAA1742130000	48V_BSG_DAI_PT4	AAA1742070000	speed cup	AL5005	1
JPV004	AAA1742130000	48V_BSG_DAI_PT4	AAA1741750000	actor housing	PP-TD20	1

En conclusión, el proyecto trasciende a algo más que interconectividad en el sistema como método de consulta y acceso a la información, teniendo la potencialidad de convertirse en una plataforma para analizar la relevancia de esta información en el desarrollo del producto.

Referencias bibliográficas

- (218) 2020 Digital Transformation - Jeanne Ross - YouTube. (2020). *2020 Digital Transformation - Jeanne Ross*. <https://www.youtube.com/watch?v=lrX0UemtWVQ>
- AGU. (2021). *WISDOM - Normenmanagement Dokumentenmanagement - Smartline Produkte*. <https://www.agu.de/produkte/en/WISDOM>
- Alsthuller, G. (s/f). *40 Principios de Triz Claves para la Innovación Tecnológica*.
- bizagi. (2021). *Bizagi Modeler*. <https://www.bizagi.com/es/plataforma/modeler>
- CAPVIDIA. (2021). *Best STEP File to Use: AP203, AP214, and AP242*. <https://www.capvidia.com/blog/best-step-file-to-use-ap203-vs-ap214-vs-ap242>
- Continental Automotive. (s/f-a). *FLT | Function Library Tool*. Recuperado el 21 de abril de 2021, de <https://functionlibrary.conti.de/dashboard>
- Continental Automotive. (s/f-b). *Overview - WISDOM Community*. Recuperado el 1 de noviembre de 2021, de <https://connext.conti.de/communities/service/html/communitystart?communityUuid=63333efe-c236-4c5d-9c84-1beccb1c521b>
- Continental Automotive. (2021). *WISE_Rollout_Training_WISE_Product_Structure_2021.pptx*. https://pws2.conti.de/sites/wis671/_layouts/15/WopiFrame2.aspx?sourcedoc=/sites/wis671/Shared/Documents/30_WP/33_Training_Material/3340_Training_Material_RELEASED/WISE_Rollout_Training_WISE_Product_Structure_2021.pptx&action=default
- Foster, E., & Shripad, G. (2014). *Database Systems : A Pragmatic Approach*. Apress.
- IBM. (s/f). *Engineering Requirements DOORS Family*. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.ibm.com/mx-es/products/requirements-management>
- ISO. (2014). *ISO 10303-242*.
- Linoff, G. S., & Berry, M. J. A. (2011). *Data Mining Techniques: For Marketing, Sales, and Customer Relationship Management, 3rd Edition*. WILEY.

- Magallanes Luna, S. (2020). *Proceso_Diseño_Actual*.
- Magallanes Luna, S. (2021). *Entrevistas "Prueba de concepto 1"* (p. 5).
- Managing PowerCopies*. (s/f). Recuperado el 8 de mayo de 2021, de [http://www.staff.city.ac.uk/~ra600/ME2105/Catia course/CATIA Tutorials/wfsug_C2/wfsugat0200.htm](http://www.staff.city.ac.uk/~ra600/ME2105/Catia_course/CATIA_Tutorials/wfsug_C2/wfsugat0200.htm)
- Marr, B. (s/f). *What Is The Difference Between Data Mining And Machine Learning? | Bernard Marr*. Recuperado el 3 de octubre de 2021, de <https://bernardmarr.com/what-is-the-difference-between-data-mining-and-machine-learning/>
- Microsoft. (2021). *Visualización de datos | Microsoft Power BI*. <https://powerbi.microsoft.com/es-mx/>
- Munné, F. (2005). ¿ Qué es la complejidad? *Encuentros de psicología social*, 19. <http://www.teoriadacomplexidade.com.br/textos/teoriadacomplexidade/QueEsLaComplejidad.pdf>
- NASA. (2007). *NASA Systems Engineering Handbook*. 360.
- Needham, M., & Hodler, A. E. (2019). *Graph Algorithms*. O'Reilly Media, Inc. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7131-2_100422
- Neo4j. (2021a). *Graph Data Platform | Graph Database Management System | Neo4j*. <https://neo4j.com/>
- Neo4j. (2021b). *Neo4j Bloom | Friendly Graph Database Visualization, Exploration and Collaboration tool*. <https://neo4j.com/product/bloom/>
- ORACLE. (2021). *¿Qué es una base de datos orientada a grafos?* <https://www.oracle.com/mx/big-data/what-is-graph-database/>
- pandas. (2021). *Python Data Analysis Library*. <https://pandas.pydata.org/>
- PTC. (2021). *Windchill | PLM | PTC*. <https://www.ptc.com/en/products/plm/plm-products/windchill>
- Robinson, I., Webber, J., & Eifrem, E. (2015). *Graph Databases, New Opportunities for Connected Data* (M. Beaugureau (Ed.); Second Edi). O'Reilly Media, Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407192-6.00003-0>

SAP. (s/f). *Softwares para la transformación digital en todos los sectores | SAP*. Recuperado el 2 de mayo de 2021, de <https://www.sap.com/latinamerica/index.html>

SIEMENS. (2021). *PLM–Gestión del ciclo de vida del producto: Siemens Digital Industries Software | Siemens Digital Industries Software*. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/>

Softtek. (s/f). Masterclass : Designed for Digital. *Masterclass: Designed for Digital*.

Texas Instruments. (2021). *Power Designer*. <https://webench.ti.com/power-designer/switching-regulator>

índice de figuras

Figura 1: Etapas del "Product Life Cycle"	10
Figura 2: Proceso de digitalización de las compañías	14
Figura 3: Árbol de Causa-Efecto	15
Figura 4: Módulos y submódulos	18
Figura 5: Agentes e interconectividad actual	20
Figura 6: Propuesta de agentes e interconexiones.....	24
Figura 7: Herramientas e instrumentos	37
Figura 8: Sistema de Diseño Actual vs Propuesta	41
Figura 9: Niveles de diseño e información de referencia	42
Figura 10: Interconectividad, flujo de información y retroalimentación del sistema	42
Figura 11: Diagrama de relaciones para creación de grafo	46
Figura 12: Pareto "Usuario 1"	53
Figura 13: Gráfica de residuales "Usuario 1"	53
Figura 14: Pareto "Usuario 2"	56
Figura 15: Gráfica de residuales "Usuario 2"	56
Figura 16: Pareto "Resultados Totales"	58
Figura 17: Gráfica de "Resultados Totales"	58
Figura 18: Estructura de ensamble	61
Figura 19: Interconexión Ensamble a Característica.....	63
Figura 20: Ejemplo de reúso	64
Figura 21: Modelo del grafo y sus bases de datos de referencia	65
Figura 22: Interconexión de ensamble con información de referencia	66
Figura 23: Grafo de consulta información repetida.....	67
Figura 24: Tabla de consulta información repetida	67
Figura 25: Relación del reúso con la interconectividad de la información.....	70

Índice de tablas

Tabla 1: Recopilación de resultado de flujo de información ME	21
Tabla 2: Factores y Niveles del diseño de experimentos.....	33
Tabla 3: Resumen de diseño de experimentos.....	33
Tabla 4: Cronograma de trabajo	47
Tabla 5: Tiempos "Usuario 1"	52
Tabla 6: Análisis de varianza "Usuario 1"	53
Tabla 7: Tiempos "Usuario 2"	54
Tabla 8: Análisis de varianza "Usuario 2"	55
Tabla 9: Análisis de varianza "Usuario 2" (Sin Bloques).....	55
Tabla 10: Análisis de varianza "Usuario 2" (Sin valores no significativos).....	55
Tabla 11: Resultados Totales	57
Tabla 12: Análisis de varianza "Resultados Totales"	57
Tabla 13: Análisis de varianza "Resultados Totales" (Sin valores no significativos)	58
Tabla 14: Optimización de resultados (mínimo de tiempo)	59
Tabla 15: Matriz de información extraída.....	73

Índice de siglas

ITESO: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

R&D: Research and Development

OEM: Original Equipment Manufacturer

PLM: Product Lifecycle Management

PLC: Product Life Cycle

NASA: National Aeronautics and Space Administration

2D: two-dimensional

3D: three-dimensional

CAD: Computer-Aided Design

DFMEA: Design Failure Mode and Effect Analysis

FLT: Function Library Tool

MIT: Massachusetts Institute of Technology

ISO: International Organization for Standardization

STEP: Standard for the Exchange of Prod

ME: Mecánicos

APQP: Advanced Product Quality Planning

PSW: Part Submission Warrant

IT: Information Technology