

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD JUÁREZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



ADMINISTRACIÓN DE CAMBIOS DE INGENIERÍA
PARA REDUCIR LOS IMPACTOS NEGATIVOS EN EL
PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN.

TESIS
QUE PRESENTA:

BRISSA CAROLINA GARCÍA ARRIETA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA

CIUDAD JUÁREZ, CHIH.

MAYO DEL 2023.



Ciudad Juárez, Chihuahua, **28/abril/2023**

C. MARÍA YOLANDA FRAUSTO VILLEGAS
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE.

Me permito hacer de su conocimiento que se le autoriza a él(la) **C. BRISSA CAROLINA GARCÍA ARRIETA** con número de control **M20112733**, la defensa de su tesis para para obtener el grado de Maestro(a) en el programa de Maestría en Ingeniería Administrativa, quien desea titularse por medio de TESIS.

El tema a desarrollar será denominado **"ADMINISTRACIÓN DE LOS CAMBIOS DE INGENIERÍA PARA REDUCIR LOS IMPACTOS NEGATIVOS EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN"**, quedando conformado su jurado de la siguiente manera:

- Presidente: Luz Elena Tarango Hernández
- Secretario: Adrián Francisco Loera Castro
- Vocal: Diego Adiel Sandoval Chávez
- Vocal Suplente: Francisco Zorrilla Briones

Sin otro particular de momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Excelencia en Educación Tecnológica"

EDUARDO RAFAEL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.c.p. Departamento de Servicios Escolares
ERPO/dmsp



EDUARDO RAFAEL POBLANO OJINAGA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.

Por medio de la presente se hace constar que la tesis denominada **"ADMINISTRACIÓN DE LOS CAMBIOS DE INGENIERÍA PARA REDUCIR LOS IMPACTOS NEGATIVOS EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN"**, presentado por el(a) alumno(a) **C. BRISSA CAROLINA GARCÍA ARRIETA** con número de control **M20112733**, para obtener el grado de Maestro(a) en el programa de Maestría en Ingeniería Administrativa, ha sido revisada y aprobada en su forma y contenido por los suscritos, por lo que no existe ningún inconveniente para la impresión de la misma.

Se extiende la presente constancia a petición de él(la) interesado(a) y para los fines legales que a él(ella) convengan, en Ciudad Juárez, Chihuahua, a los veintiocho días del mes de abril del año dos mil veintitrés.

ATENTAMENTE

"Excelencia en Educación Tecnológica"



LUZ ELENA TARANGO HERNÁNDEZ
DIRECTORA



ADRIAN FRANCISCO LOERA CASTRO
CO-DIRECTOR



DIEGO ADIEL SANDOVAL CHÁVEZ
REVISOR



FRANCISCO ZORRILLA BRIONES
REVISOR

C.c.p. División de Estudios de Posgrado e Investigación
Ajmmed01



CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En Ciudad, Juárez, Chihuahua, México, siendo el día 2 de mayo del año 2023, el que suscribe, Ing. Brissa Carolina García Arrieta, alumno del Programa de la Maestría en Ingeniería Administrativa, con número de control M20112733, adscrito a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, manifiesta que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Mtra. Luz Elena Tarango Hernández y cede los derechos del trabajo titulado "ADMINISTRACIÓN DE LOS CAMBIOS DE INGENIERÍA PARA REDUCIR LOS IMPACTOS NEGATIVOS EN EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN", al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el consentimiento expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: brisitit@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente



Ing. Brissa Carolina García Arrieta.

Agradecimientos

A Dios por permitir llegar a este punto de mi vida, a mis niños Sahir y Sahid, quienes tuvieron que pasar por este proceso conmigo, espero que algún día aspiren a lograr más de lo que yo he podido hacer. A mi madre Ruth quien me apoyo y soportó todo este tiempo el descuido o carga de ayudarme con el cuidado de mis niños para que cumpliera con este meta. A mis abuelos quienes siempre me dieron apoyo y ayuda con mis hijos y me alentaron a que todo se podía lograr para superarnos.

A los ingenieros J. Moreno y Pedro, que se convirtieron en una parte fundamental en mi vida, siempre me alentaron y dijeron que yo podría lograr lo que me propusiera y me apoyaron en todo.

A la Maestra Tarango, quien me apoyó y guío en el camino de la tesis y me dio soporte emocional cuando estuve a punto de abandonar la maestría por falta de tiempo, quien logro que se cumpliera este reto en tiempo extraordinario.

Al Doctor Zorrilla, quien brindó su apoyo a último momento para lograr concluir esta investigación, y quien es un ejemplo a seguir, pues demuestra que somos capaces de lograr todo lo que nos proponamos.

Al Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, a los Doctores y Maestros que se convirtieron en parte de este proceso, por brindarme la oportunidad de obtener un nuevo logro académico.

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene su origen en la problemática que presenta la empresa actualmente con la implementación de los cambios de ingeniería. Este proceso es esencial en las maquiladoras, ya que de eso depende su habilidad para responder rápidamente a los eventos y con ello demostrar si son competitivas en su ramo por la capacidad de cumplir las expectativas de los clientes. Debe de resaltarse que ninguna empresa está exenta de este proceso por las actualizaciones de los productos que están teniendo en un mercado tan demandante.

En el capítulo 1, se presenta una introducción al tema de la importancia que tiene actualmente la industria maquiladora en esta ciudad, se brinda una breve introducción de cómo son los requerimientos que se presentan en las industrias automotrices para lograr las certificaciones requeridas por los clientes. El enfoque es en un requerimiento en específico de los clientes a las empresas en los cambios de ingeniería, aquí se compartirán los diferentes puntos de vista que tiene la frase cambios de ingeniería dentro de la industria.

En el capítulo 2, se encuentran descritos los requisitos o actividades que debe realizar la empresa en el proceso de la implementación de los cambios de ingeniería, basándose en el proceso que administra actualmente. Se incluyen además las preguntas de investigación, a las que se les dará respuesta durante el desarrollo del trabajo, así como sus respectivas hipótesis y el objetivo de esta investigación.

El estado del arte y marco referencial se encuentra contenido en el capítulo 3, sección en la que se desarrollan de forma detallada los conceptos presentados en el primer capítulo, haciendo un mayor énfasis en cómo se ha definido y trabajado este proceso a lo largo de los años. Se definen los tipos de cambios de ingeniería que afectan el proceso actual de la empresa y el origen

que pueden tener estas solicitudes por parte de los clientes, las normas que rigen este proceso para poder mantener las certificaciones requerida como evidencia de que la empresa asegura la calidad del producto. Aquí se incluye el análisis de varias publicaciones relacionadas con el tema.

En el capítulo 4, se describe la metodología que se empleó durante la investigación, incluyendo el diseño de la investigación, diagramas que se generaron para la simulación del proceso, la descripción de las fases de la investigación, los softwares utilizados y la determinación de su impacto. Así como la recolección de los datos para el desarrollo de las pruebas de hipótesis.

Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 5. Primeramente, se realizó una modelación del proceso de seguimiento de los cambios, utilizando el software Bazagi® y posteriormente se desarrollaron otros dos escenarios con posibles mejoras del proceso. También se presentan los resultados de las pruebas de hipótesis del análisis estadístico realizado en Minitab®. Así mismo, se describen recomendaciones. Finalmente se presentan las referencias bibliográficas consultadas.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
CONTENIDO.....	8
LISTA DE TABLAS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2.1 Antecedentes.....	17
2.2 Descripción del Problema.....	22
2.3 Preguntas de Investigación.....	24
2.4 Hipótesis.....	24
2.5 Objetivos.....	25
2.6 Justificación.....	25
2.7 Delimitación.....	26
2.8 Supuestos.....	26
3.0 MARCO TEÓRICO.....	27
3.1 Cambios de Ingeniería.....	27
3.2 Tipos de Cambio de Ingeniería.....	30
3.2.1 Cambio de Diseño.....	31
3.2.2 Cambio de Componente.....	33
3.2.3 Cambio de Maquinaria y Equipo.....	33
3.2.4 Cambios de Demanda.....	35
3.3 APQP.....	37
3.4 Modelación y Simulación.....	41
3.5 Modelado de Proceso de Negocios.....	42
3.6 Marco Referencial.....	44
4. MATERIALES Y METODOS.....	47
4.1 Materiales.....	47

4.2 Métodos.....	47
4.2.1 Tipo de Investigación.....	48
4.2.2 Diseño de Investigación.....	49
4.2.3 Fase Uno: Diagnóstico.....	50
4.2.4 Fase Dos: Planificación del Estudio.....	50
4.2.5 Fase Tres: Intervención.....	51
4.2.6 Fase Cuatro: Determinación del Impacto.....	51
4.2.7 Fase Cinco: Resultados y Conclusiones.....	51
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
5.1 Prueba de Hipótesis.....	57
5.1.1 Hipótesis para Pruebas de Normalidad.....	57
5.1.2 Hipótesis para Pruebas de Varianza.....	57
5.1.3 Hipótesis para Prueba de Diferencias de Medias.....	58
5.2 Análisis del Primer Escenario.....	58
5.3 Análisis del Proceso para Propuestas de Mejora.....	68
5.4 Análisis del Segundo Escenario.....	70
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	

LISTA DE TABLAS

NOMBRE	PÁGINA
2.1 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería del Cliente	23
4.1 Fases de la Investigación.....	49
5.1 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería Solicitados por el Cliente.....	58
5.2 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnese de 2 a 80 circuitos.....	61
5.3 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnese de 81 a 160 Circuitos.....	62
5.4 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnese de 161 a 312 Circuitos.....	63
5.5 Consolidado de los Resultados de las Simulaciones Primer Escenario	64
5.6 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Primer Escenario para Arnese Categoría 1	64
5.7 Tiempos Obtenidos de la Simulación de los Escenarios Alternos para Arnese Categoría 2.....	66
5.8 Tiempos Obtenidos de la Simulación de los Escenarios para Arnese Categoría 3.....	67
5.9 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería Solicitados por el Cliente.....	70
5.10 Resultados en Bizagi® de la Segunda simulación, Arnese de 2 a 80 Circuitos.....	71
5.11 Resultados en Bizagi® de la Segunda Simulación, Arnese de 81 a 160 Circuitos.....	71
5.12 Resultados en Bizagi® de la Segunda Simulación, Arnese de 161 a 312 Circuitos.....	72
5.13 Consolidado de los Resultados de las Simulaciones.....	73

5.14 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alternativo para Arnéses Categoría 1.....	74
5.15 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alternativo para Arnéses Categoría 2.....	76
5.16 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alternativo para Arnéses Categoría 3.....	79

LISTA DE FIGURAS

NOMBRE	PÁGINA
2.1 Diagrama de Flujo Para Cambios de Ingeniería.....	22
2.2 Gráfico de los Cambios de Ingeniería Recibidos en los Últimos Años.....	24
4.1 Diagrama de Actividades del Cliente Representado en Bizagi®.....	52
4.2 Diagrama del Departamento de Aplicaciones Representado en Bizagi®.....	52
4.3 Diagrama del Equipo Interno de la Empresa Nivel 5 Representado en Bizagi®.....	52
4.4 Diagrama del Equipo Interno de la Empresa Nivel 1 y 2 Representado en Bizagi®.....	53
5.1 Diagrama del Departamento de Materiales Representado en Bizagi®.....	58
5.6 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 1 Antes.....	65
5.7 Conclusión Gráfica de la Prueba Normalidad de la Categoría 1 Antes.....	65
5.8 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 2 Antes.....	66
5.9 Conclusión Gráfica de la Prueba Normalidad de la Categoría 2 Antes.....	67
5.10 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Antes.....	68
5.11 Conclusión Gráfica de la Prueba Normalidad de la Categoría 3 Antes.....	68
5.12. Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 1 Después....	74
5.13 Conclusión Gráfica de la Prueba Normalidad de la Categoría 1 Después.....	75
5.14. Gráfico de prueba de varianzas categoría 1.....	75
5.15 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 2 Después.....	77

5.16 Conclusión Gráfica de la Prueba Normalidad de la Categoría 2 Después.....	77
5.17 Gráfico de Prueba de Varianzas Categoría 2 Después.....	78
5.18 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con Prueba de Anderson- Darling.....	80
5.19 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con Prueba Rayn-Joiner.....	80
5.20 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	81
6.1 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 1.....	83
6.2 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 2.....	84
6.3 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 3.....	85

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el rol que tienen la industria maquiladora en el ramo automotriz es importante, pues es una de las grandes promotoras de exportación en la frontera, debido a que son los mayores generadores de empleo en la ciudad y generan divisas por la exportación de sus productos. Ciudad Juárez cuenta con más de 40 parques industriales, en los que destacan mayormente empresas dedicadas al sector electrónico, automotriz y el médico. Esto es un total de 319 empresas maquiladoras de las cuales el sector de vehículos de transporte es de gran importancia, ya que el valor de las exportaciones en este fue de 15.6 miles de millones de dólares en 2022 (INEGI 2023).

Existen requerimientos particulares para la producción automotriz y piezas relevantes de servicio, estos se encuentran en la guía de especificaciones técnicas para la administración de un sistema de calidad y su nombre es la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés, *International Organization for Standardization*) la cual tiene un apartado de Especificaciones Técnicas (TS por las siglas en inglés, *Technical Specification*) dirigido a la industria automotriz (ISO, 2009). La ISO/TS en uno de sus procedimientos hace énfasis en que la empresa deberá establecer, documentar, implementar y mantener un sistema de administración de la calidad y continuamente mejorarlo de manera eficaz según los requisitos de esta norma internacional (ISO, 2009). Los requisitos de la documentación que deberá incluir en un sistema de administración de la calidad son: las declaraciones documentadas de una política de calidad, un manual de calidad, los documentos de procedimientos y los registros requeridos por esta norma internacional y documentos que incluyan los registros determinados por la organización que sean necesarios para asegurar la eficaz planeación, operación, control y acciones de contingencia en los procesos (*International Automotive Task Force*, 2015).

Uno de los registros que determina la organización para asegurar la eficaz planeación, operación y control de los procesos son las especificaciones de ingeniería, las cuales establecen que la organización deberá tener un proceso para asegurar la oportuna revisión, distribución e implementación de todos los estándares y requerimientos del cliente y los cambios basados en programación requerida por el cliente (ISO, 2009). El ámbito de la administración de los cambios es conocido como cambios de ingeniería y generan numerosos cambios en los procesos bajo la perspectiva y soporte de profesionales que lidian con el cambio de ingeniería (Schmidt et al. 2014). La capacidad de administrar los cambios de manera eficiente y eficaz refleja la agilidad de una empresa (Huang et al. 2001), sin embargo, la industria todavía es cuestionada por tratar con los cambios de ingeniería en la práctica (Kernschmidt et al. 2014).

Los cambios de ingeniería son una clase de cambios o modificaciones en las formas, funciones, materiales, dimensiones, etc., de productos y componentes constitutivos (Huang et al. 2001). Por otra parte, Wickel et al. (2013) mencionan que son procesos genéricos adaptables a las necesidades de la empresa.

Un cambio de ingeniería se presenta mínimo una vez por año para cada modelo de automóvil que esté vigente en el mercado y que se esté procesando. Por su parte, los proveedores de partes y componentes fabrican componentes similares para varios modelos que se siguen trabajando y es factible confundirlos entre los diferentes modelos, aunque en algunos casos esta similitud ayuda, pues ya cuando se solicitan arneses de un modelo muy antiguo los proveedores ya no tienen ciertos componentes (esto podría detener la producción de este requerimiento), sin embargo, se pide autorización al cliente para usar un componente nuevo en lugar del original, pues el cambio es insignificante.

En cada cambio, las actividades que se efectúan son acorde a la experiencia de cada compañía, ya que la norma ISO/TS no describe cuáles son las actividades específicas que deberán realizarse, solo menciona que “deberán registrarse dichas actividades acorde a la programación solicitada por el cliente”.

En la empresa en cuestión, no está exenta de los cambios de ingeniería, de los cuales se presentan los afectos en los diferentes departamentos y las consecuencias de no realizar las actividades correspondientes para que éstos tengan el mínimo efecto negativo en su ejecución.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la mayoría de las empresas un cambio de ingeniería se realiza mediante fases, que a su vez incluyen las evidencias de entregables, es decir pruebas para el cliente que demuestran la calidad en el proceso y que tienen las instalaciones o equipo correcto para producir el arnés y lo más importante que el cliente necesita saber que están en tiempo adecuado en la implementación. La falta de visibilidad del estatus de los cambios de ingeniería genera incertidumbre entre los gerentes y clientes, debido a que no se sabe si la empresa logrará implementar el cambio, pues al momento de estar presentando el estatus de los cambios con los clientes no se tiene la información real para poder responder a cualquier pregunta relacionada con el cambio de ingeniería y se hace hincapié en si la empresa lo logrará implementar en la fecha requerida por el cliente o el cliente se tiene que adaptar a la fecha que la empresa proponga, en la cual planea concluir la implementación y enviar las piezas para liberación del PPAP (*Production Part Approval Process, por sus siglas en inglés*), esto como consecuencia de que la empresa está escalda a nivel corporativo por la falta de cumplimiento en lo que respecta a las fechas solicitadas por el cliente. En este capítulo, se presenta información relevante que da lugar a la situación problemática que se va a tratar en esta investigación.

Al tratarse de una empresa que trabaja con un cliente que tiene un volumen bajo de venta anual y una alta mezcla de números de partes, los cambios de ingeniería son una constatación, pues cada mes se solicitan de cinco a 60 cambios de ingeniería en los productos que se están manufacturando actualmente.

2.1 Antecedentes

Los cambios de ingeniería en las líneas de producción son trascendentales, ya que el cliente confía que la empresa puede mantener los

estándares de calidad y, lo más significativo, el cliente confía en que no tendrá que parar las líneas de ensamble por falta de arneses.

Durante el proceso de implementación de un cambio se ven involucrados varios departamentos de la planta los cuales generan evidencias que demuestren los resultados. Este depende mucho del tipo de cambio que sea requerido, si el cambio es de un componente (terminal), lo deben de conformar más evidencias desde un *six pack* (validaciones de las combinaciones cable - terminal), las modificaciones en hojas de corte, liberación por parte de calidad en especificaciones de troquelado, etc.

Un cambio de ingeniería son cambios o modificaciones en las formas, funciones, materiales, dimensiones, etc., de productos y componentes constitutivos. Actualmente cuando hay un cambio de ingeniería se involucran varios departamentos como los son, producción, ingeniería de producto, materiales, ingeniería de aplicaciones, etc. Cuando el cambio de ingeniería se define, empieza el proceso, aquí lo que más afecta es que no se tenga la información en tiempo, esto por no saber o comprender lo que implica el cambio (componente o dimensión) y esto afecta en desconocer si hay avance o existe algo que retrase la implementación del cambio y esto es necesario para que la planificación en el área de producción para lograr cumplir con las fechas requeridas. Además de que el sistema esté actualizado con la información de lo que afecto o impacto el cambio al arnés, ya que puede suceder que las personas involucradas realicen los cambios pertinentes en los que a su departamento concierna, pero no verifica las implicaciones de otros departamentos.

Actualmente el proceso de la planta se realiza mediante notificaciones en el sistema interno, el cliente revisa el cambio deseado a implementar y lo comparte con el departamento de aplicaciones, que a su vez lo reenvía por

correo electrónico y adjunta un vínculo en el que se agregan los planos y especificaciones en una carpeta compartida al equipo interno (éste se encuentra en la planta manufacturera). Además, se manda un recordatorio por el sistema interno (PLM), para que los departamentos involucrados aprueben el cambio solicitado y sigan con el proceso para la implementación. Desafortunadamente, no hay una regla para determinar el tiempo de implementación y en muchos requerimientos no se da el seguimiento adecuado para reducir los tiempos de implementación que se conocen como negativos, cuando la fecha promesa ya fue rebasada, (actualmente la empresa ha negociado con el cliente que para la implementación se requiere un tiempo de ocho a 12 semanas).

El equipo de ventas trabaja a la par con el equipo de cotizaciones, ya que una vez que se recibe la notificación por parte del equipo de aplicaciones, se inicia el proceso de liberación de ambos departamentos, para poder tener actualizado el costo incurrido del cambio que han solicitado y verificarlo con el ingeniero de producto, para evitar variaciones en costo.

Hasta este punto se describirá la administración interna de la planta, para lograr reducir al máximo los impactos negativos, que se pudieran generar por no administrar los cambios, ya que por ser una empresa que maneja un volumen bajo de ventas y una alta mezcla de números de parte, es muy arriesgado tener material almacenado por las enormes pérdidas asociadas a los cambios, que se pudiesen presentar por la tendencia recurrente de los cambios requeridos por el cliente.

El coordinador del proyecto es el que oficializa con el cliente la fecha de cuando el cambio ya estará listo para enviar las primeras piezas y lograr la obtención del PPAP. En lo que respecta a la comunicación interna, se comparte la fecha de cuando se obtendrá el PPAP y el nuevo número de parte pasa a ser

producción regular. El coordinador tiene que revisar cada cambio, además de analizarlo a detalle, ya que su obligación es organizar la junta de factibilidad con los departamentos: tableros, planeación, materiales, manufactura, producción y calidad, para lograr la implementación en la fecha promesa. El coordinador debe de poner atención extra con el departamento de ingeniería de manufactura, para analizar lo que implica el cambio y si es necesario adquirir nuevo equipo, (herramental, escantillón, componentes, etc.).

Por parte del departamento de tableros se tiene que informar si cuenta con la disponibilidad de construir el tablero en planta o lo requiere con proveedor externo. Conjuntamente, revisa si el número de parte a reemplazar tiene demanda o se puede disponer del tablero anterior para solo retrabajarlo. Con respecto al departamento de materiales tiene que consultar la disponibilidad de componentes y en caso de que no se tengan, buscar proveedores alternativos para el nuevo componente a utilizar. Con el área de prototipos se tiene que revisar la disponibilidad para la construcción del arnés maestro, para la liberación del tablero y prueba eléctrica, también ellos revisan, junto con el ingeniero de producto, que los cambios en el sistema BPC muestren el nuevo listado de materiales, con los nuevos componentes y el costo final del nuevo número de parte. Una vez que ya se tenga toda esta información, se inician las juntas de APQP (*Advanced Product Quality Planning*, por sus siglas en inglés), para obtener un PPAP del producto, que aplican para lanzamientos de nuevos productos o cambios de ingeniería. Todo esto con la finalidad de notificar a los departamentos involucrados que tienen que dar soporte en la implementación del cambio. Estas juntas se llevan un día a la semana con la intención de que cada departamento presente el avance o en dado caso si tiene problemas para continuar con el proceso.

Como se mencionó anteriormente, la empresa tiene bajo volumen y alta mezcla, lo que podría asumirse que tienen la capacidad de reaccionar y trabajar

de manera rápida y efectiva en los cambios de ingeniería, se puede suponer que la construcción es por orden del cliente (*make to order*, por sus siglas en inglés).

Es importante conocer la interacción que tienen los diferentes departamentos, para responder efectivamente a las demandas del cliente, ya que todos los departamentos para hacer sus funciones dependen de otros y sus resultados impactan a otros procesos. Esto es lo que se conoce como proceso interno. En la Figura 2.1 se presenta un diagrama de flujo de lo anteriormente descrito.

Hernández (2012) alude que el ser Coordinador de Programa tiene que tener la capacidad de negociación, pues es responsable de fondar recursos para los proyectos a nivel planta, corporativo o con cliente. Esto es, evaluar y justificar los recursos financieros y humanos requeridos para proyectos determinados y lograr el equilibrio responsabilidad. El coordinador debe administrar el presupuesto, liderar las juntas semanales de revisión con el equipo multidisciplinario y cliente. Así mismo monitorear y dar seguimientos a problemas de responsabilidades inter-departamentales. Finalmente debe revisar continuamente el estatus del programa dando iniciativa a la resolución de problemas.

Sin embargo, es la gestión de los cambios de ingeniería la actividad de mayor exigencia, pues implica el supervisar estos cambios desde su concepción que puede ser a solicitud específica del cliente. El coordinador es responsable de la gestión, coordinación e interface de los diferentes departamentos de la empresa para mejorar la implementación de las actualizaciones de los proyectos en sus distintas fases de desarrollo para el portafolio del cliente, para asegurar las fechas promesa.

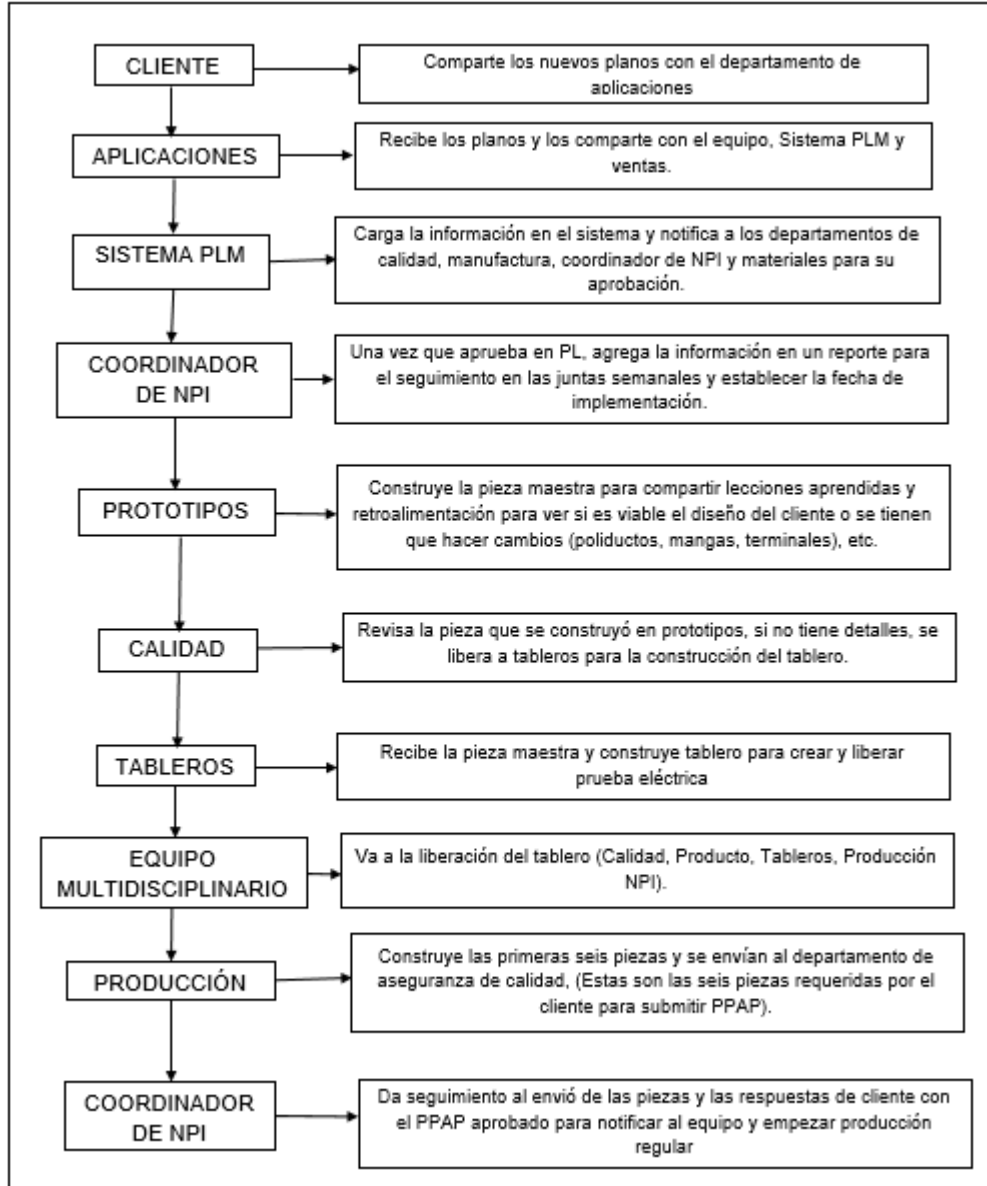


Figura 2.1 Diagrama de Flujo para Cambios de Ingeniería.

2.2 Descripción del Problema

Actualmente la empresa no está respondiendo a las fechas pactadas para concluir los cambios de ingeniería que tienen abiertos, generando un mal control en el seguimiento de los cambios de ingeniería, por la falta de administración en la ejecución de los cambios, pues tiene más de seis meses

en los que no se da seguimiento a estos requerimientos. La falta de visibilidad de esta información impacta de manera negativa a la planta, por esta razón, los involucrados recurren a notificar a otros niveles para buscar respuestas, que les ayuden a tomar decisiones, por no tener respuesta de fecha promesa para los más de 300 números de parte con retraso de implementación y de los envíos fallidos. La falta de información verídica conlleva a generar falsas expectativas de avance en los proyectos, que puede ser falta de materiales, falta de tableros, documentación retrasada, entre otros.

Además, la forma de trabajar o implementar estos cambios es de manera independiente, por ejemplo, deciden realizar un cambio de ingeniería sencillo porque implica menos trabajo, que otro que esté más urgentes para el cliente y puedan afectar sus plantas ensambladoras. Aunado a toda esa problemática de retrasos, el cliente está pensando en una revisión 6 y la planta está trabajando en una revisión 3, por dar un ejemplo, en la tabla 2.1 se muestra el consolidado de los cambios de ingeniería recibidos en los primeros cinco meses de lo que va del año.

Tabla 2.1 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería del Cliente.

Arness	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Categoría 1	8	17	8	17	
Categoría 2	1	3	2	28	5
Categoría 3	1	21	6	12	
total de cambios	10	41	16	57	5

CAMBIOS DE INGENIERÍA

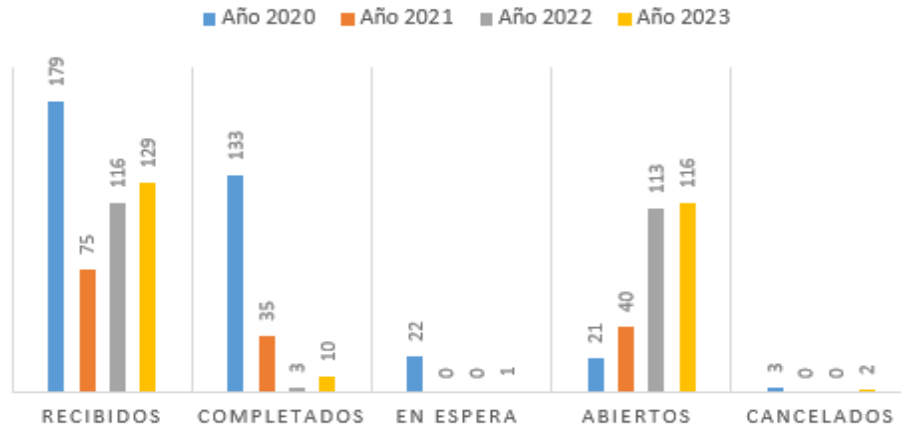


Figura 2.2 Gráfico de los Cambios de ingeniería Recibidos en los Últimos Años. (Datos obtenidos del documento de APQP de la empresa).

2.3 Preguntas de Investigación

- ¿Cuáles son las actividades en el proceso que afectan la implementación de un cambio de ingeniería en una compañía artesera?
- ¿Los recursos disponibles y los tiempos establecidos por la empresa son los suficientes para poder cumplir con los cambios de ingeniería?

2.4 Hipótesis

- Creando escenarios alternos para realizar una comparación, es posible detectar cuales son las acciones de gestión del proceso que permitan reducir el tiempo de implementación de los cambios de ingeniería.
- Mediante el mapeo y simulación del proceso, se detecta si los tiempos obtenidos están dentro de los tiempos prestablecidos por los coordinadores para concluir la implementación con la fecha pactada con el cliente.

2.5 Objetivos

Diseñar el proceso que se emplea actualmente para la implementación de los cambios de ingeniería y visualizar la relación entre los departamentos de la empresa que están involucrados en este proceso por medio de una investigación prospectiva cuantitativa

2.5.1 Objetivos específicos

- a) Determinar si los tiempos establecidos por los coordinadores están dentro del tiempo real que consume la planta para completar actividades
- b) Determinar cuáles actividades impactan de manera negativa el proceso.
- c) Analizar los tiempos obtenidos de la simulación del proceso como medio de buscar alternativas y reducir los tiempos.
- d) Generar un escenario diferente en el simulador y comprar resultados de cada una para visualizar mejoras.

2.6 Justificación

Actualmente la empresa no tiene un buen control acerca de cómo se van a implementar los cambios. No tiene visibilidad en tiempo real acerca de cuánto tiempo se consumiría en la implementación del cambio, comprometiendo a los departamentos con las fechas tan cercanas impactando de manera negativa a la planta.

Desde el punto de vista de la administración de un cambio de ingeniería, es necesario conjuntar toda la información de los departamentos y ver la capacidad que tienen para la toma de decisiones y priorizar de manera oportuna los números de parte con más urgencia para poder concluir la implementación a tiempo y con ello dar respuesta a los clientes.

2.7 Delimitaciones

Este proyecto se vería limitado solo a los cambios de ingeniería de productos que ya se están manufacturando en lo que es el cliente *HYG*, que es el cliente que más reclamos tiene en relación a las fechas promesas falladas.

Por situación actual, todo el análisis del proceso de cambios de ingeniería se llevará a cabo por medio de un *software Bizzagi®* para generar resultados de los tiempos que podrían consumir para la implementación. A su vez, simular con un escenario que representará una alternativa para impactar

en la mejora del proceso. Una vez simulados se analizarán los datos en *Minitab®* para probar hipótesis de los tiempos y ver el escenario alterno.

2.8 Supuestos

Se tiene la premisa que el sistema APQP es accesible para todos y la información contenida es suficiente y confiable. Además, de que es conocida y aplicada por todos los involucrados, conocen la fecha compromiso con el cliente para la entrega de los productos requeridos.

Otro supuesto es en relación a la información proporcionada por las partes involucradas que es verídica y oportuna. Los tiempos establecidos por la empresa para lograr cumplir con las actividades para implementar los cambios de ingeniería, ya están negociados con los clientes.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los diferentes conceptos y teorías que sustentan esta investigación. Además, se presenta una revisión de casos relacionados con la problemática.

3.1 Cambios de Ingeniería

Según Kernschmid et al. (2014), el ámbito de la administración de los cambios es conocido como cambios de ingeniería y generan numerosos cambios en los procesos bajo la perspectiva y soporte de profesionales que lidian con el cambio de ingeniería. Huang et al. (2001) definen a los cambios de ingeniería como una clase de cambios o modificaciones en las formas, funciones, materiales, dimensiones, etc., de productos y componentes constitutivos, además de que la capacidad de administrar los cambios de manera eficiente y eficaz refleja la agilidad de una empresa. Sin embargo, la industria todavía es cuestionada por tratar con los cambios de ingeniería en la práctica. Por su parte Wickel (2013), estableció que los cambios de ingeniería son procesos genéricos adaptables a las necesidades de la empresa.

La gerencia de cambios de ingeniería en la industria automotriz refiere a todas las actividades involucradas dentro de una empresa para planificar, desarrollar e implementar las modificaciones que afecten a un componente, productos o sistema que se encuentra en producción. La gestión de estos cambios por lo general se desarrolla considerando cada cambio como un proyecto y es liderada por el gerente del programa o (*programa manager, por sus siglas en inglés PM*). La gerencia de programa es una función específica, pero no limitada, pues abarca diversas competencias técnicas, pero principalmente un alto sentido de organización y liderazgo, ya que implica la coordinación de diversos departamentos y sus distintos actores dentro de la organización para cumplir con las metas establecidas (Hernández, 2012).

En la industria automotriz un cambio de ingeniería se presenta mínimo una vez por año para cada modelo de automóvil que esté vigente en el mercado, y, generalmente un proveedor de partes, fabrica componentes similares para varios modelos. En cada cambio, las actividades que se efectúan son acorde a la experiencia de cada compañía, ya que la norma ISO/TS no describe cuáles son las actividades específicas que deben realizarse y menciona que “deberán registrarse dichas actividades acorde a la programación solicitada por el cliente”.

En una investigación realizada por Karl et al. (2012) se ofrece una metodología general para realizar los cambios de ingeniería, la cual se divide en etapas. La primera es la identificación de los factores que influyen en el cambio, posteriormente se modelan los recursos para la manufactura, seguido de el mapeo de los factores que afectan el cambio. Después se hace una representación del cambio, y por último se realiza la evaluación y la planificación del cambio.

Karl (2012) expone en la etapa de identificación una lista de factores o elementos que pueden ser causales en un cambio de ingeniería; sin embargo, no ofrece una recomendación de las actividades que los departamentos involucrados pueden ejecutar para su control. Brinda la apertura para que la metodología sea ampliada antes de la ejecución del producto o después de la fabricación del modelo primario.

Un cambio de ingeniería ocurre cuando alguno de los productos sufre un cambio físico o administrativo. Este proceso puede involucrar varios tipos de cambios como pueden ser: Un cambio físico; que es un cambio de la materia prima solicitado y las causas u orígenes son: Ahorro de costos, problemas de ensamble del arnés, cambio de modelo, una solicitud del proveedor o problemas en sus sistemas.

También pueden ser de origen administrativo y este cambio ocurre cuando hay problemas de uso de la materia prima, ya que pueden estar usándose de más o de menos de lo que el sistema de uso indica, por lo se hace una corrección en el uso y éstas tienen su origen o causa en alguna modificación al diseño, cambio de proveedor, especificación, causas de algún problema. También cuando es necesario el cambio de herramienta o maquinaria que pueda afectar el sistema. Cuando hay aumento de la competencia, la globalización y la incertidumbre de los mercados actuales son sólo algunos de los muchos desafíos a los que se enfrentan actualmente las principales empresas de manufactura. Esto ha llevado a una mayor personalización y cambio de los productos (Xuehong et al. 2006). Por otra parte, un cambio normalmente es definido como la modificación de la pieza original, de la ejecución del tiempo, costo o calidad (Ibbs 1997).

La gestión de las variaciones en todos los niveles de fabricación reconfigurable es una de las prioridades más importantes para ofrecer variedad y rentabilidad, altos niveles de calidad, capacidad de respuesta y adaptabilidad (EIMaraghy, 2005). Una fabricación reconfigurable es considerada como un cambio en el proceso y en la industria automotriz es llamado cambio de ingeniería (ISO 2009), el cual puede ocurrir por los siguientes factores (Koren et al. 1999): La creciente introducción de la frecuencia de nuevos productos, los cambios de piezas para los productos existentes, fluctuaciones en la demanda del producto y la mezcla. Cambios en las regulaciones del gobierno (seguridad y medio ambiente) y los cambios en la tecnología de proceso.

Estos factores causan una creciente presión sobre las empresas. Sin embargo, el tiempo disponible para los cambios de ingeniería disminuye (Bleicher, 2014). Por lo tanto, los cambios deben planificarse con suficiente tiempo, ya que las empresas se ven afectadas por esta presión y su principal preocupación repercute en los procesos (Zäh et al. 2008), por ser altamente

dependientes del número cambios ingeniería (Zäh et al. 2009). Existen indicadores o parámetros de rendimiento para evaluar un cambio de ingeniería, algunos de los más comunes son los costos, la fiabilidad, la utilización, la calidad, el tiempo de rampa, la disponibilidad y el plazo la ejecución (Mittal & Jain, 2014). Los costos, el tiempo de ejecución y la calidad se utilizan como índices para evaluar los objetivos de un proyecto (Almohadi et al. 2011). Las investigaciones que se relacionan con el tema objeto de estudio fueron realizadas desde el año de 1999, de las cuales destacan los temas de cambio de ingeniería de manufactura y la producción cambiante (Koren et al. 1999).

3.2 Tipos de Cambios de Ingeniería

Para generar un cambio de ingeniería se ven afectados cuatro elementos del proceso de producción, pueden ser el proveedor, diseño del arnés, el proceso de fabricación o el herramental utilizado en el proceso (Sipla et al. 2022).

Para generar un cambio de ingeniería se siguen los siguientes pasos:

- a) Proveedor: El proveedor necesita hacer un cambio de herramental o de materia prima y notifica al departamento de ingeniería que está a cargo de estos cambios.
- b) Diseño: Un cambio de diseño no es muy frecuente y por lo regular no se hace un cambio de ingeniería sino un oficio, pero cuando un cambio de diseño afecta los componentes se convierte en un cambio de ingeniería.
- c) Proceso: este es igual al de diseño, pero solamente cuando es un cambio muy significativo llega a ser un cambio de ingeniería (esto es cuando afecta a cambios físicos o administrativos).
- d) Herramental: Cuando se necesita hacer un cambio de herramienta o maquinaria que afecte al sistema de producción.

- e) Problemas de instalación: Los operarios al instalar la materia prima encuentran algunas dificultades para su instalación, reportan el problema y los ingenieros estudian sus especificaciones y los problemas que pueda causar para poder generar el cambio de ingeniería.
- f) Ahorro de costos: Los ingenieros involucrados tienen la asignación de monitorear las materias primas para desarrollar un plan de ahorro de costos, después se le comunica a ingeniería para revisarlo con el proveedor involucrado.
- g) Cambio de modelo: Cada año se rediseña el automóvil por lo que regularmente cambian algunos componentes, los cambios significativos se presentan cada 6 años y es cuando cambia de diseño de manera total, este cambio es monitoreado por los ingenieros de producto por lo que no se llega a considerar como un cambio de ingeniería.

3.2.1 Cambio de Diseño

La gran competencia en el mercado automotriz está originando que los modelos estén desarrollando cambios para seguir avanzando en el mercado de la industria de materia prima o subensambles. Esto ha concluido como cambios de ingeniería. Y motiva por innovar en el mercado o por malas experiencias, por no tener el resultado esperado debido a la celeridad de los lanzamientos o el típico cambio de ingeniería año modelo. También se puede generar con la opción de reducir los costos directos de mano de obra, sin considerar los demás factores implicados en el producto como validaciones, características funcionales y de durabilidad o incluso por un detalle que se presenta en la cadena de suministros que lleguen a afectar a la planta (Rodríguez et al. 2020).

Otro motivo por los que se llegan a realizar los cambios y es de gran impacto, es cuando se requiere corregir o realizar mejoras al diseño del producto o componentes, como resultado de las distintas validaciones del producto. Estas van desde las realizadas al diseño de los componentes o del sistema y las validaciones continuas, hasta aquellas pruebas que se realizan ya

con el arnés montado en el vehículo (podría ser las vistas de los componentes que no ensamblan 100%, o hasta las longitudes o dimensiones que se planearon, no es lo mismo un dibujo en 3D al tenerlo físicamente).

Las pruebas de validación continuas (CCT *Continuous conformance test*, por sus siglas en inglés), son aquellas determinadas desde el diseño del producto y por contrato de común acuerdo con el cliente sobre las características que se determinan críticas y cuya variación pueda afectar las características de desempeño del producto durante la vida del proyecto. Esto es lo que se conoce como garantía del producto (a los tantos kilómetros puede fallar es por un mal diseño o algún problema de calidad del arnés). Por eso es que las pruebas de campo tienen un gran impacto en la determinación de fallas tempranas de los vehículos y proporcionan mayor retroalimentación de funcionamiento y desempeño del arnés brindando información para posibles mejoras (Hernández, 2012).

En la investigación de Hernández (2012) se menciona que durante el proceso de desarrollo de cualquier elemento a ser ensamblado en un vehículo se tienen que validar sus características de seguridad, funcionabilidad y durabilidad. Estas validaciones se realizan desde las primeras etapas del desarrollo del arnés. Aunque existen fases prototipos (en las que aún se aceptan los arneses con componentes alternos), es hasta el final que se acepte el arnés, ya con los componentes únicos o con los que se diseñó inicialmente, es cuando se tienen la visión real de cómo se comportara ese arnés al ser expuestos a las condiciones de uso que han sido diseñados, Es responsabilidad del ingeniero del producto definir cuáles pruebas y bajo qué condiciones se validará el arnés. Estas validaciones son anteriores a las que el fabricante final del automóvil realizará a los vehículos pilotos, mismas que se llevaran a cabo para verificar los mismos principios, pero a nivel de ensamble final.

Independientemente de la complejidad del cambio, la coordinación de los distintos elementos a interactuar es de gran importancia y más cuando existen características críticas, ya que, tanto por el impacto del cambio en sí mismo, como la efectividad y velocidad en la implementación por la fase avanzada del proyecto, pues por una mala gestión en el cambio del diseño, puede implicar el retraso en el arranque del modelo o fallas tempranas en las primeras producciones. Esto podría ocasionar elevadas pérdidas o paros en las líneas de las ensambladoras o costos por garantías tempranas debido a fallas en vehículos por un mal diseño (Hernández, 2012).

3.2.2 Cambio de Componente

La administración de la cadena productiva se ha vuelto una competencia básica y se han tratado de replicar las estructuras de las cadenas de proveedores de los países en donde se encuentra ubicada la casa matriz, la cual solicita a los proveedores que se establezcan en nuevas regiones cerca de las nuevas plantas. Se establecen prácticas de subcontratación, justo a tiempo y calidad total, lo que induce la modificación de la estructura de la industria de autopartes en los diferentes países. La responsabilidad de los proveedores se ha incrementado porque se subcontratan funciones de diseño, desarrollo, manufactura y ensamblado en la línea de ensamble directamente en el vehículo (Vázquez, 2016).

3.2.3 Cambio de Maquinaria y Equipo

El cambio de herramientas o equipo se define como el conjunto de operaciones que se realizan sobre los equipos de producción, para prepararlos y puedan producir el nuevo producto. Esta actividad debe de realizarse y controlarse bajo los parámetros de eficiencia, eficacia y con el mínimo costo, introduciendo en este artículo la trascendencia de estas operaciones. Esto es importante ya que primero se debe de tener bien definido el proceso de manufactura (Rodríguez & Cárcel, 2014).

Eraso (2008) define proceso de manufactura de manera separada. "Es el conjunto de actividades relacionadas y ordenadas con las que se consigue un objetivo determinado". En ingeniería industrial el concepto de proceso adquiere gran importancia, debido a la práctica en esta disciplina, que requiere: planear, integrar, organizar, dirigir y controlar. Con relación a la manufactura: "Obra hecha a mano o con el auxilio de máquina". La manufactura es un mecanismo para la transformación de materiales en artículos útiles para la sociedad. También es considerada como la estructuración y organización de acciones que permiten a un sistema lograr una tarea determinada. Se trata de un conjunto de actividades organizadas y programadas para la transformación de materiales, objetos o servicios en artículos o servicios útiles para la sociedad. Es necesario delimitar la definición de proceso industrial al evento que sucede siempre que existan y se transformen elementos fundamentales materia, energía e información y que, a partir de la relación de estos, en mayor proporción de materia y energía, origine un producto tangible y no un servicio. Esto implica que los procesos industriales se dan en las empresas de manufactura y no en las de servicio.

Los costos de producción deben ser los más bajos posibles tal que, sin afectar la calidad requerida, permitan competir en el mercado. Los precios de venta en los mercados conquistados deben ser lo suficientemente favorables como para que arrojen una rentabilidad tal que deje ganancias suponiendo que las inversiones de operación se hacen con capital prestado en los bancos.

El cambio de maquinaria y equipo es cuando se necesita hacer un cambio de herramienta o maquinaria que afecte al sistema de producción, este puede ser provocado por problemas de calidad, pues la máquina no está cumpliendo con las especificaciones requeridas (compactación). Otra razón es que el arnés sufrió un cambio de diseño y se modificaron los procesos y estos por ser de características críticas, necesitan una máquina con un sistema más delicado para las fallas. La razón más simple podría ser la actualización de

tecnologías, máquinas que pueden hacer la operación con una reducción de tiempo y costo, el equipo está implícito en el cambio de un componente, pues si están nuevos conectores se debe de realizar la actualización en las líneas de prese-ensamble, tableros de construcción y los tableros y bancos de prueba eléctrica para poder realizar al arnés las pruebas de manera correcta. Esto quiere decir que el conector ensamble de manera adecuada en la nueva escantillón o módulo (Bosch & Varas (2001).

3.2.4 Cambios de Demanda

Existen tres factores importantes que influyen los cambios en la industria automotriz mundial: a) el comportamiento de la demanda de vehículos, b) la regulación gubernamental en los países desarrollados y c) los cambios tecnológicos (Álvarez, 2002).

Con respecto al comportamiento de la demanda, se observa que las ventas de automóviles nuevos en los países desarrollados crecieron a gran velocidad y por ende la necesidad de seguir innovando y actualizando los vehículos con mayor y mejores tecnologías

Los cambios en el mercado están sujetos a una nueva capacidad de fabricación la cual se convirtió en una necesidad de los sistemas de fabricación reconfigurable (Dashchenko, 2006). La gestión de las variaciones en todos los niveles de fabricación reconfigurable es una de las prioridades más importantes para ofrecer variedad y rentabilidad, altos niveles de calidad, capacidad de respuesta y adaptabilidad (ElMaraghy, 2005). Una fabricación reconfigurable es considerada como un cambio en el proceso y en la industria automotriz es llamado cambio de ingeniería (ISO 2009), el cual puede ocurrir por factores como la creciente introducción de la frecuencia de nuevos productos, los cambios de piezas para los productos existentes, las grandes fluctuaciones en la demanda del producto y la mezcla, los cambios en las regulaciones del

gobierno (seguridad y medio ambiente) y cambios en la tecnología de proceso. (Koren et al. 1999).

La necesidad de responder a un conjunto de clientes tan diversos en diferentes países, niveles de ingresos y preferencias ha generado un gran incremento de segmentos de mercado y de modelos de automóviles. Por ejemplo, el número de modelos de automóviles ofrecidos en los Estados Unidos pasó de 550 a 1,050 entre 1980 y 1999 (Veloso & Kumar, 2002).

Álvarez (2002), menciona que la regulación gubernamental en los países desarrollados ha jugado un papel importante en la reestructuración de la industria automotriz porque ha obligado el cambio tecnológico y ha permitido la entrada a nuevos actores que proveen esta tecnología. Se han fijado estándares de seguridad en los vehículos, como cinturones de seguridad y bolsas de aire y se han establecido medidas de control ambiental para regular emisiones contaminantes y consumo de gasolina. Este equipo le da una ventaja competitiva al producto y permite venderlo a precios más elevados. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que es cuestión de tiempo que los otros competidores utilicen la misma tecnología, por ello la ventaja competitiva desaparece convirtiéndose en ocasiones en equipo obligatorio.

Cuando hay un cambio en la demanda puede ser que incremente por el número de automóviles que desea producir el cliente o porque es un modelo obsoleto (la nueva tecnología o equipamiento del vehículo necesita que el arnés sea capaz de cumplir con más funciones. Aunque sea un incremento puede sufrir cambios en el diseño y esto es a su vez implica que la empresa genere cambios con sus proveedores, pero lo más importante, como crece la demanda, es necesario hacer movimientos en la empresa para poder satisfacer el nuevo volumen, es decir, la instalación de nuevas líneas con la implementación de este nuevo volumen.

3.3 APQP

El APQP (por sus siglas en inglés: *Advanced Product Quality Planning*), es un proceso básico del sistema de gestión de la calidad, cuyo propósito fundamental es asegurar que, antes de entregar por primera vez un producto al cliente, se hayan seguido todos los pasos necesarios y se hayan establecido los controles para proporcionar un producto de calidad, a tiempo y al más bajo costo. Esta herramienta se utiliza para administrar proyectos de lanzamiento o introducción de nuevos productos. En proyectos complejos la metodología facilita mucho la comunicación entre las partes involucradas, ya sean departamentos internos de un corporativo o clientes y proveedores. (Espinal 2021)

El APQP se trata de un proceso definido para un sistema de desarrollo de productos para General Motors, Ford, Chrysler y sus proveedores. Según AIAG (Por sus siglas en inglés *Automotive Industry Action Group*), el propósito del APQP es producir un plan de calidad del producto que apoye el desarrollo de un producto o servicio que satisfaga las necesidades del cliente.

El APQP es un proceso desarrollado a finales de 1980 por una comisión formada por Ford, GM y Chrysler. Esta herramienta es utilizada hoy en día por estas tres empresas, sus proveedores y algunas filiales. El APQP sirve de guía en el proceso de desarrollo y también es una forma estándar para compartir los resultados entre los proveedores y las empresas automotrices.

El proceso se enfoca en el desarrollo, la industrialización y el lanzamiento de nuevos productos. Durante estas fases 23 temas son monitoreados, estos deberán estar terminados antes de que la producción en serie inicie. Algunos temas que son monitoreados son: robustez del diseño, pruebas de diseño y el cumplimiento de las especificaciones, diseño del proceso de producción, estándar de inspección de calidad, capacidad de proceso, capacidad de

producción, embalaje de producto, pruebas de productos y plan de formación de operadores, entre otros.

El modelo de APQP sugiere seguir cinco fases en la administración del proceso y cada fase se maneja de manera independiente, pues la salida o resultado obtenido como salida de cada fase es la entrada del siguiente proceso.

a) Planeación: En esta fase se pretende entender las necesidades del cliente, dichas necesidades se incluyen en un plan de calidad de la empresa. Los entregables de esta fase son las metas de diseño, una lista preliminar de materiales, un diagrama de flujo preliminar y todo esto en un documento que demuestre el apoyo de la administración.

b) Diseño y Desarrollo del Producto: El objetivo de esta fase es desarrollar las características del diseño hasta un punto muy cercano a su forma final y efectuar un análisis de factibilidad preliminar para evaluar problemas potenciales durante la manufactura. Los entregables son DFMEA (*Design Failure Modes and Effects Analysis, por sus siglas en inglés*), diseño para fabricación y ensamble, verificación del diseño, revisión del diseño, construcción de prototipos, plan de control, compromiso del equipo y apoyo de la gerencia, entre otros.

c) Diseño y Desarrollo del Proceso: El objetivo es desarrollar un sistema de manufactura para lograr productos de calidad. Algunos entregables son el diagrama de flujo de proceso, distribución o diseño de la línea de producción, PFMEA (*Process Failure Modes and Effects Analysis, por sus siglas en inglés*), plan de control de pre lanzamiento, instrucciones de proceso, apoyo de la gerencia, entre otros.

d) Validación del Producto y del Proceso: El objetivo es la validación del proceso de manufactura a través de la evaluación de una corrida de producción significativa, o corrida piloto. Esto es para identificar los puntos que requieran investigación y resolución antes de las corridas de producción regulares. Los entregables de esta etapa son: corrida piloto de producción, evaluación de los sistemas de medición, estudios preliminares de capacidad del proceso, aprobación de partes para producción (PPAP), pruebas de validación de la producción, evaluación del empaque, plan de control de producción, autorización (*sign-off*) del plan de calidad y apoyo de la gerencia.

e) Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas: El objetivo es evaluar la efectividad del esfuerzo de planeación de la calidad del producto y analizar el proceso de manufactura cuando todas las causas especiales y comunes de variación están presentes. Los entregables son la reducción de la variación, mejora de la satisfacción del cliente, uso efectivo de lecciones aprendidas / mejores prácticas y mejoramiento del envío y servicio.

Durante la cuarta etapa del APQP se sugiere realizar una corrida de producción significativa para validar la calidad del producto y la capacidad del proceso en condiciones reales, para esto se sugiere producir al menos 300 partes consecutivas o el equivalente a ocho horas de producción en un ambiente real de producción. Esto significa que se deben producir en la línea en donde normalmente se fabricará, con los herramientas finales, con el personal que trabajará en dicha línea o el equivalente en nivel de conocimientos. Esta corrida significativa de producción algunos proveedores la denominan corrida de PPAP, otros le llaman *run at rate*, el objetivo es validar tanto el producto como el proceso.

Algunos errores comunes al realizar la corrida *run at rate* son utilizar materiales equivalentes, que la corrida se hace en otra línea porque la final no está lista, usar otros datos improvisados y no el definitivo, trabajar personal con la mayor categoría de conocimientos y habilidad o bien que la línea de ensamble trabaje a una velocidad más baja de la presupuestada. El objetivo es validar si el proceso es capaz de producir productos con la calidad esperada en el volumen esperado. Los errores mencionados anteriormente se producen típicamente por la presión de cumplir con la documentación hacia el cliente y se olvidan de proteger a la propia organización. Durante la corrida de PPAP la organización debería estar consiente que es la oportunidad de corregir cualquier anomalía y liberar un proceso confiable para seguir produciendo de manera consistente.

Por ejemplo, al utilizar personal sobrecalificado durante la corrida de *run at rate* se corre un gran riesgo que al arrancar la producción normal con el personal presupuestado que es de menor grado de calificación no lograrán cumplir las metas de producción asociadas con volumen, calidad que incluye desechos entre otros. Durante esta cuarta fase del APQP es importante otra herramienta que se llama PPAP, que son los documentos de soporte que deben elaborarse para demostrar al cliente y a la propia organización que el proceso de manufactura tiene el potencial para producir de manera consistente, que cumple los requerimientos durante una corrida de producción real y que cumple con los volúmenes que serán demandados.

Los 18 requisitos documentados para un PPAP son:

- Registros de diseño
- Documentos de cambios de ingeniería autorizados
- Aprobación de ingeniería del cliente
- AMEF de Diseño
- Diagrama de Flujo de Proceso
- AMEF de Proceso

- Plan de Control
- Estudios MSA
- Resultados dimensionales
- Registros de resultados de pruebas de materiales/desempeño (USCAR)
- Estudios iniciales de proceso
- Documentación de Laboratorio Calificado
- Reporte de Aprobación de Apariencia (AAR)
- Muestras de partes de producción
- Muestra Maestra
- Ayudas para verificación
- Requerimientos específicos del cliente
- Certificado de Emisión de Partes (PSW)

No todos los requerimientos son necesarios para cada número de parte de cada organización. En resumen, el APQP muestra todas las fases para el lanzamiento de un nuevo producto y el PPAP los requisitos que se deben documentar para demostrar que el proceso es capaz de producir productos de calidad mediante una corrida significativa de producción.

3.4 Modelación y Simulación

Una forma de comprender el comportamiento del sistema es experimentar. De hecho, este ha sido el método utilizado para mejorar el conocimiento durante siglos: hacer preguntas sobre el comportamiento del sistema y responderlas a través de experimentos. Un experimento es el proceso de extraer datos de un sistema sobre el cual se ha ejercido una acción externa

Por otro lado, el modelado matemático y la simulación por computadora son una forma de adquirir conocimientos sobre el comportamiento del sistema. En este caso, el sistema se trata como cualquier objeto cuyas propiedades desee estudiar. Según esta definición, cualquier fuente de datos potencial es un sistema.

Los objetivos son predecir el comportamiento del sistema en determinadas condiciones; comparar el comportamiento de diferentes diseños alternativos del sistema; analizar la sensibilidad de determinadas medidas del comportamiento del sistema a varios factores; calcular qué valores de ciertos parámetros del modelo proporcionan el mejor valor para una respuesta específica (Juárez 2022).

3.5 Modelado de Procesos de Negocio

El BPMN (por sus siglas en inglés: *Business Process Model and Notation Software*) es la nomenclatura estándar para el modelado de procesos de negocios. Fue diseñado como una notación de tipo diagrama de flujo robusto, fácil de usar y completamente independiente de la implementación (García, 2013). Está especialmente diseñado para coordinar la secuencia de procesos y los mensajes que fluyen entre los participantes en diferentes actividades (White, 2014).

García (2013) continúa explicando que el BPMN es como un lenguaje formal que permite modelar, simular y eventualmente, ejecutar un proceso de negocio. Su sintaxis está basada en elementos gráficos agrupados en categorías y su desarrollo estuvo a cargo de la organización BPM inicio, pasando posteriormente a manos de OMG (por sus siglas en inglés, *Object Management Group*), lo que lo ha convertido en un estándar para el modelamiento de procesos.

EL BPD (Buenas Practicas de Distribución) es un cuadro diseñado para representar gráficamente la secuencia de todas las actividades que ocurren en el proceso basado en la tecnología *FlowChart*, además incluye toda la información que se considera necesaria para el análisis. BPD es un gráfico

diseñado para que los analistas diseñen, controlen y gestionen procesos. En el diagrama de flujo de negocios de BPD, se utiliza un conjunto de elementos gráficos agrupados por categoría, lo que facilita el desarrollo de diagramas simples y fáciles de entender, pero puede manejar la complejidad inherente del proceso de negocios (White, 2014).

BPMN es un estándar internacional de modelado de procesos reconocido por la comunidad. Es independiente de cualquier método de modelado de procesos. También crea un puente estandarizado para cerrar la brecha entre los procesos comerciales y su implementación. BPMN permite modelar el proceso de manera unificada y estandarizada para que todos en la organización puedan entender.

El principal objetivo de BPMN es proporcionar una notación estándar que sea fácilmente legible y entendible por parte de todos los involucrados e interesados del negocio (*stakeholders*). Entre estos interesados se encuentran los analistas de negocio (quienes definen y redefinen los procesos), los desarrolladores técnicos (responsables de implementar los procesos) y los gerentes y administradores del negocio (quienes monitorizan y gestionan los procesos).

Como disciplina de gestión de procesos, el concepto de BPM es amplio; tiene objetivos claros y bien definidos: Mejorar la agilidad de negocio: concepto que se entiende como la capacidad que tiene una organización de adaptarse a los cambios del entorno a través de los cambios en los procesos integrados. Lograr mayor eficacia: capacidad de una organización para lograr, en mayor o menor medida, los objetivos estratégicos o de negocio. Mejorar los niveles de eficiencia: relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados (García, 2013).

3.6 Marco Referencial

Rodríguez et al. (2020) hacen una descripción detallada de la situación actual que gestiona la industria automotriz, realizaron una investigación cualitativa utilizando como medibles el nivel de cumplimiento de las actividades de los departamentos involucrados en la implementación, para esto se utilizó un cuestionario en las cuales se tomaron 8 variables, este es dirigido a los departamentos o áreas funcionales que participan en los cambios de ingeniería, este estudio pide identificar los factores de caracterización del cambio, los recursos para el ensamble de la manufactura, el mapeo de los factores que intervienen, la exposición del cambio, la evaluación y la planeación del cambio. son los mismos que en éste caso de estudio en particular, pero las actividades que les corresponden a cada uno son muy diferentes debido a como se reparten las actividades o las tareas, (actividades de comunicación, actividades de validación, actividades de actualización, documentos de aprobación, estudios dimensionales, actualización de instalaciones, planes de mantenimiento, capacitación del recurso humano, entre otros), los resultados no se pueden comparar con un estudio previo ya que no existe, solo se concluyó con que tendrán mayor posibilidad de mejorar su productividad en la gestión de un cambio o integrarse como proveedor directo o indirecto de la industria automotriz.

Combita & Morales (2016) abordan un tema que en otras circunstancias no hubiera asociado a la investigación, pues no consideraba los departamentos de la empresa como un sistema, solo los miraba como departamentos con un fin en específico. La innovación se ha convertido en una exigencia para las empresas y la implementación de un sistema de gestión de la innovación para planificación, operación y control de actividades, debido a que los enfoques tradicionales no son aptos o suficientes para enfrentar las situaciones actuales. Mencionan la Ley de Ashby que hace referencia al control de la complejidad

“cualquier acción administrativa es reductora de variedad”, Los controles que se utilizan para gestionar la implementación de la innovación.

La innovación se toma como subsistema fundamental de toda empresa, lo cual exige un análisis desde una perspectiva sistémica. El primer enfoque que toma es el de la variedad requerida pues es considerada un sistema dinámico no-lineal, es decir, "evoluciona a lo largo del tiempo y las relaciones entre variables que determinan esta evolución no son lineales" (Navarro, 2010). Además, se ha comprobado que "Los enfoques tradicionales y funcionales no son suficientes para desarrollar gerentes listos para enfrentar la inestabilidad incipiente y la incertidumbre" (Muller, 2011). El segundo enfoque a resaltar aquí es el del control interno, este se define como "un proceso efectuado por el consejo de administración, la dirección y resto del personal de una entidad, diseñado con el objeto de proporcionar un grado de seguridad razonable en cuanto a la consecución de objetivos dentro de las categorías de: eficacia y eficiencia de las operaciones, fiabilidad de la información financiera y cumplimiento de las leyes y normas aplicables" (Tanarro, 2003), El control en las organizaciones se propone como herramienta indispensable para proteger sus recursos y evitar la mayor pérdida. La innovación es la respuesta ante la variabilidad y se concluye que la innovación crea la incertidumbre y esta es la velocidad de cambio del medio y a la complejidad, las organizaciones deben responder a la incertidumbre del medio. Como se ha mencionado anteriormente, la variedad existente en el entorno solo puede ser atenuada si la variedad del sistema es mayor o igual a esta. Por consiguiente, la estructura de la organización debe responder a la complejidad del medio y esto solo se lleva a cabo con un buen control interno y el sistema de gestión de la innovación bajo los siguientes puntos: entorno del control, evaluación de riesgos, actividades de control, información y comunicación y por último la supervisión, si no ocurre la última no se garantiza tener éxito.

Vidal (2016) describe el uso del modelo BPMN y que sirvió para su posterior diagnóstico de las actividades de ingeniería en proyectos con especificidades propias de los proyectos en la industria minera. El modelo fue elaborado en forma iterativa, con la participación activa del administrador de control de documentos del área de Ingeniería y proyectos y la validación final de la superintendencia de planeamiento y control. El modelo describe los procesos existentes en forma clara, estándar y completa. El modelo permitió diagnosticar ineficiencias, identificando “cuellos de botella” causados por a) roles con sobrecarga de tareas, b) subprocesos con exceso de tareas y largos tiempos, y c) falta de alertas en algunas actividades.

Guerrero (2021) realizó un análisis de reingeniería de procesos en una empresa de ventas y uso la metodología BPMN, esta empresa, presenta retrasos de hasta un mes en la entrega de las propuestas técnicas económicas a sus clientes, así como una subutilización del personal producto de los constantes reprocesos; razón por la cual se plantea una estructura de trabajo que busca mitigar las pérdidas. En primer lugar, se plasmó una herramienta de estrategia empresarial denominada *business model canvas*. En segundo lugar, se realizó el levantamiento de los procesos de campo a través de la metodología BPMN, basada en la técnica de diagramas de flujo para efectos de poder estandarizar sus procesos; y de esta forma no generar repetitividad de sus actividades, generando así una reducción de sus costos de mano de obra de hasta un 6% de toda la planilla de la organización.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los materiales que se utilizaron en la investigación, así como la descripción del método utilizado y como se va desarrollando, para poder dar entrada a verificación e las hipótesis.

4.1 Materiales

Para realizar este trabajo de investigación se utilizarán varias herramientas, el documento interno del APQP; para lograr tener los datos, históricos de cuantos cambios de ingeniería que recibe la empresa mensualmente (en específico HYG). En la recolección de información será necesario ingresar a la plataforma BPC (una plataforma interna para tener acceso a los históricos de los números de parte), para extraer la información: en el área de planeación para ver demandas, materiales para ver inventarios, producto para ver BOM (*Bill Of Material, por sus siglas en ingles*), y costos, el departamento de costos para verificar si se actualizó, en el departamento de aduanas para dar clasificación para poder embarcar, por su parte, servicio al cliente para ver la demanda y cambiar órdenes de compra donde el cliente acepte cambiar las revisiones, también crear entrada al sistema para poder embarcar. Así mismo un archivo Excel® para recolectar la información de la plataforma (se administra en un documento de Excel que contiene toda la información de los cambios de ingeniería que se han recibido APQP del cliente) y quede en una sola hoja la información para que se pueda interpretar más fácil y saber el estatus actual de lo que implica el cambio y el estatus de los departamentos. Los programas computacionales serán Microsoft Excel 2010®, Bizzagi® y Minitab 2017®.

4.2 Métodos

A continuación, se menciona la metodología para la elaboración de este proyecto de investigación.

4.2.1 Tipo de Investigación

Se trata de una investigación prospectiva cuantitativa aplicada, pues se desarrolla una estrategia, para alcanzar un objetivo concreto. No se pretende ampliar la información, sino que se busca solucionar un problema. Ya con la situación, las hipótesis y los objetivos definidos, se continua con el análisis y la recolección de datos para tener la información necesaria para poder simular el sistema y cómo se relacionan los departamentos con cada actividad y en dado caso si necesitan una retroalimentación de otro departamento para concluir su actividad.

Se está tomando en cuenta los tiempos que han establecido el gerente de ingeniería de nuevos productos para la implementación de un cambio que son de ocho a 12 semanas para completar el proceso interno y poder enviar las piezas a cliente.

El desarrollo de la situación actual presenta en un ambiente en donde la falta de visibilidad afecta directamente, pues no se sabe en qué fase está la situación que pudiese comprometer las fechas de implementación teniendo en cuenta que todos conocen el proceso de interacción de los departamentos y no es accesible a todos en la empresa. Teniendo en cuenta esto, el estudio intenta realizar un sistema que muestre la información real de cómo interactúan los departamentos y verlos como lo que es un sistema y no solo varios departamentos trabajando para entregar resultados y no involucrarse en el proceso.

Además de que los empleados conozcan la manera de cómo se deben de relación entre ellos y que la falta de comunicación si llega a afectar, se llegan a entender el sistema y cómo se relacionan, el personal conocerá el sistema y podrá entender considerablemente las variables en el proceso.

La investigación se fundamenta en los cambios de ingeniería que estén activos en la planta (en los números de parte que son de producción regular de este cliente), para poder realizar el análisis de los cambios y recabar la información que desean que se agregue al documento llamado APQP del cliente.

4.2.2 Diseño de la Investigación

Esta investigación intenta, conocer el proceso, cómo se recibe los cambios de ingeniería, cómo se notifica al equipo interno de que hay un cambio de ingeniería a implementar, la manera o el seguimiento a las actividades para la implementación del cambio de ingeniería y el conocimiento del tiempo preestablecido para completar las actividades de los diferentes departamentos.

Aquí se describe que inclusive pequeños errores en alguna de las actividades en este proceso afectan directamente la fecha de entrega y esto es consecuencia de que no todo el personal presta importancia a las tareas, hasta que el cliente pide estatus y fecha compromiso de cuándo se embarcaran los primeros arneses para poder liberar el PPAP.

En la Tabla 4.1 se detallan las fases de la investigación para el desarrollo del análisis completo de cómo se puede acceder a ver los cambios de ingeniería activos en la planta.

Tabla 4.1 Fases de la Investigación.

Fase	Descripción	Salida, resultado o entregable
Exploratoria	Entender los cambios de ingeniería y lo que afectan.	Saber cuáles son los cambios de ingeniería que más requeridos.
Investigación profundizada	Recolección de datos de los cambios de ingeniería. Transcribir la información recolectada en PLM y BPC y ver qué es lo que afecta	Actualizar el APQP (hoja de datos) y verificar cuál es la información que realmente es importante.
Simulación	Simulación con los tiempos preestablecidos	Probar que los tiempos son acordes a lo establecido por los coordinadores para implementar un cambio.

Resultados	Ya trabajando la simulación, Visualizar la interacción de los departamentos, Estudiar los resultados con Minitab®	Analizar la información si los resultados obtenidos son normales y probar hipótesis , además de que sea fácil de entender y analizar si hay fallas de comunicación o secuencia en las actividades.
Evaluación	Escenarios alternos en los que se muestren diferentes formas de trabajo	Los resultados para reducir actividades que no agregan valor al sistema.

4.2.3 Fase Uno: Diagnóstico

Analizar la interacción entre los departamentos y ver su comportamiento en cuanto los tiempos asignados para concluir actividades, y ver cómo se comporta el sistema de este modo, debido a que no se han establecido las actividades con un responsable clave y que cada uno de ellos y ver seguimiento que se da a cada tarea. Además, la información no es muy visible o se queda estancada hasta que otro departamento solicita la información de la actividad previas (ejemplo, producción solicita tablero y tablero no está listo por falta de arnés maestro). Esto se retrasa mínimo una semana hasta que se tienen la otra junta de implementación y se toca el tema y se pasa el estatus actual o lo que los tiene detenidos para concluir. Un descuido por parte de algún departamento puede llegar a consumir tres semanas de tiempo de implementación por la falta de un buen seguimiento,

4.2.4 Fase dos: Planificación del Estudio

Crear el diagrama de la manera actual de trabajo que tienen los departamentos y cómo se relacionan (en qué actividad o tarea deben comunicarse) para poder simular el proceso que se está trabajando actualmente y con los tiempos asignados para completar las tareas. Analizar los departamentos y ver hasta dónde llega su responsabilidad de notificación y ver cómo se comunican para llevar acabo la notificación y las limitantes internas que llega a tener cada departamento, por ejemplo; materiales, solo tiene

permitido simular los días martes de las 7 a 10 am. No se pretende ampliar la información, sino que se busca solucionar un problema.

4.2.5 Fase tres: Intervención.

Modelar y simular el sistema, realizar corridas de cómo está trabajando el sistema y con ello realizar un análisis de los tiempos obtenidos en los diferentes escenarios (tiempo y probabilidades), ya que con los tiempos obtenidos se pueden visualizar los cuellos de botella que tiene el sistema actual y crear escenarios alternos con la eliminación de actividades que no agregan valor al sistema o que consumen tiempo y pueden llegar a retrasar la implementación.

4.2.6 Fase cuatro: Determinación del Impacto.

Una vez que se obtenidos los tiempos de la primera simulación (los tiempos establecidos) y se analizó el sistema actual, se simuló el escenario alternativo para obtener los tiempos estimados del proceso, ya con estos tiempos probamos las hipótesis para ver si están adecuados para concluir actividades.

4.2.7 Fase cinco: Resultados y Conclusiones.

El resultado de esta investigación es realizar un análisis de los tiempos obtenidos de la simulación del primer escenario el actual y ver la posibilidad de combinar actividades de los departamentos y realizar un estudio de los tiempos asignados a cada actividad. Con lo anterior crear un escenario alternativo con optimizaciones en las actividades y los tiempos asignados para completar las actividades en menor tiempo y ver lo que sea más conveniente para la empresa.

A continuación, se muestra en la Figura 4.1 parte del diagrama del modelado en Bizagi® que se realizaron por niveles dentro de la organización. Aquí se representa las actividades del cliente y cómo hace llegar la información del cambio a la empresa.

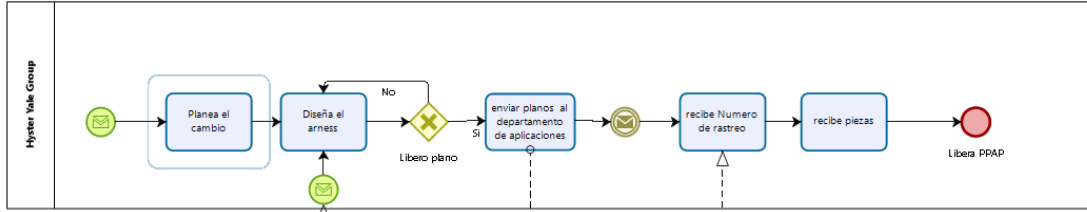


Figura 4.1 Diagrama de Actividades del Cliente Representado en Bizagi®

A continuación, en la Figura 4.2, se presenta las actividades del departamento de ventas de la empresa. Seguida de la Figura 4.3 que representa el equipo interno nivel 5.

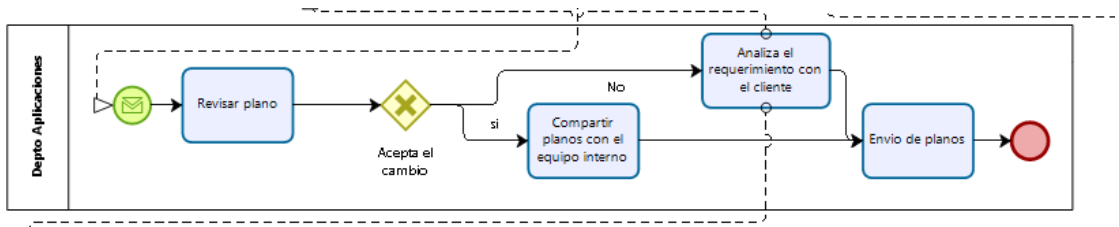


Figura 4.2 Diagrama del Departamento de Aplicaciones Representado en Bizagi®

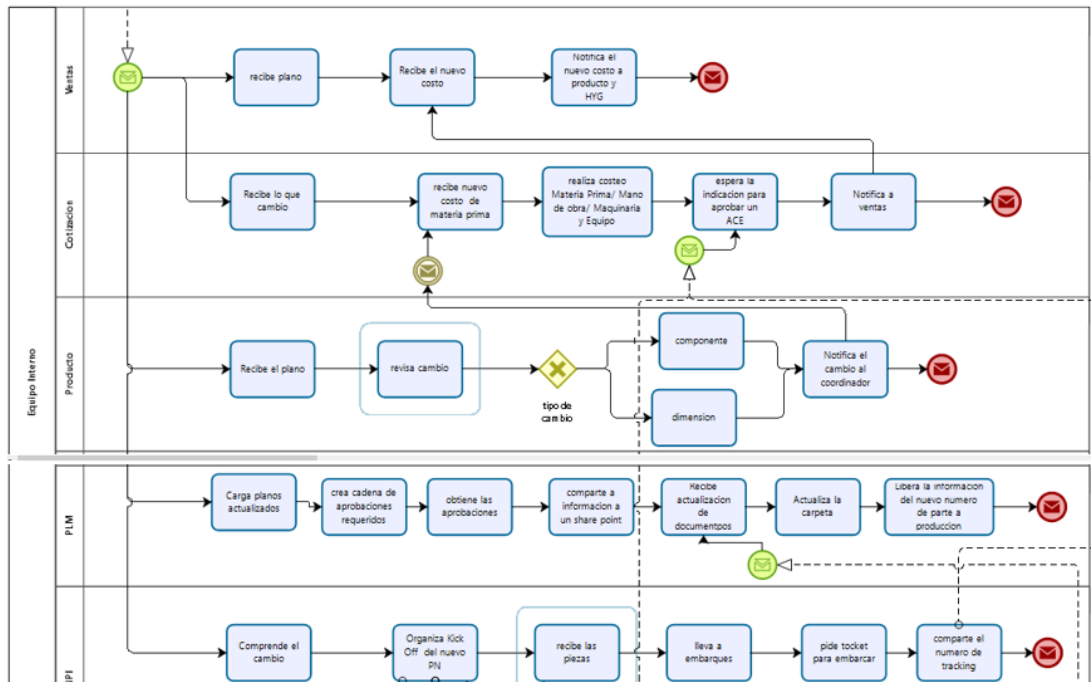
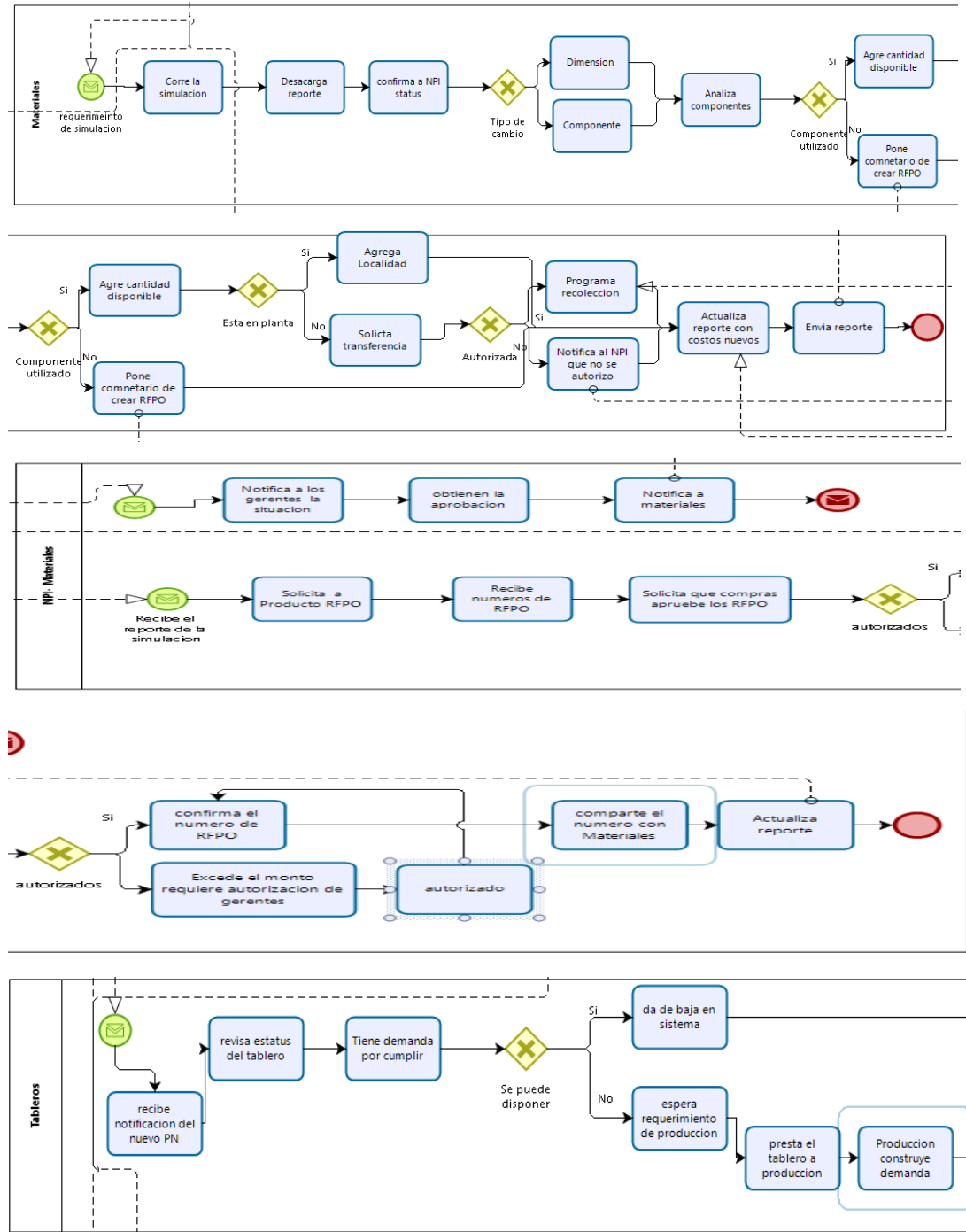
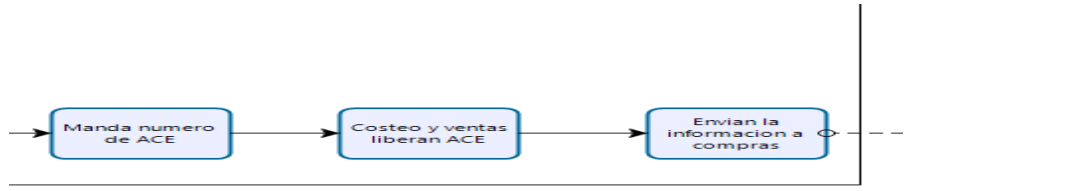
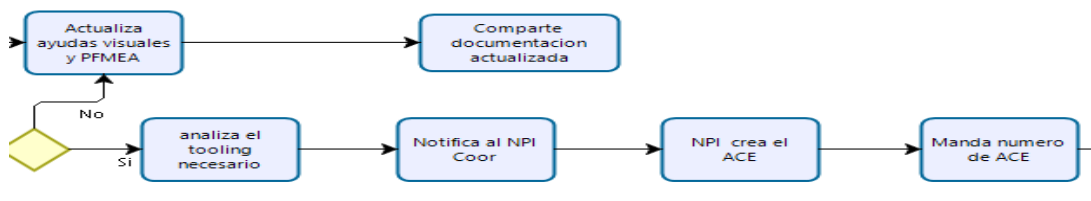
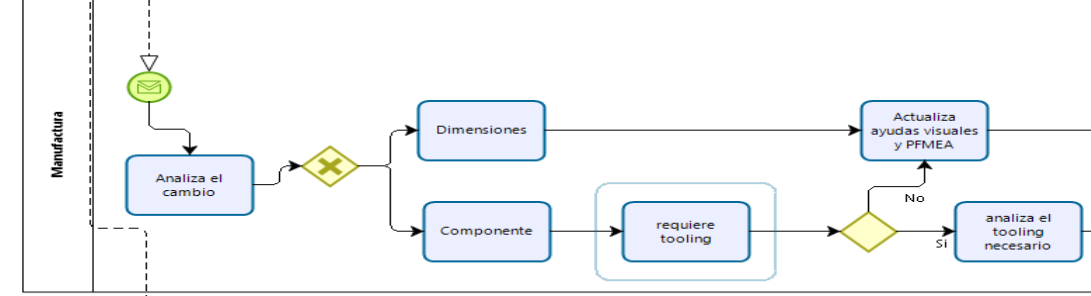
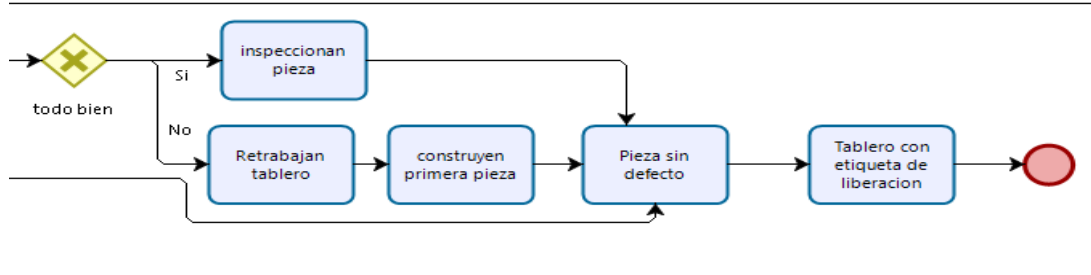
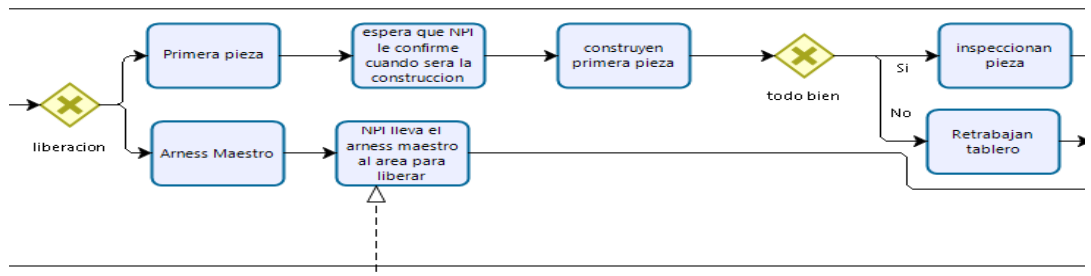
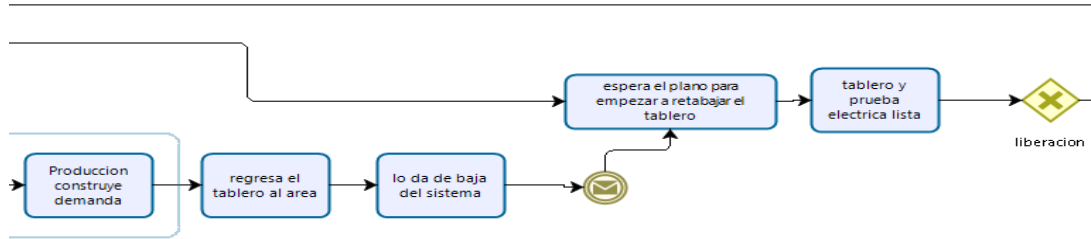
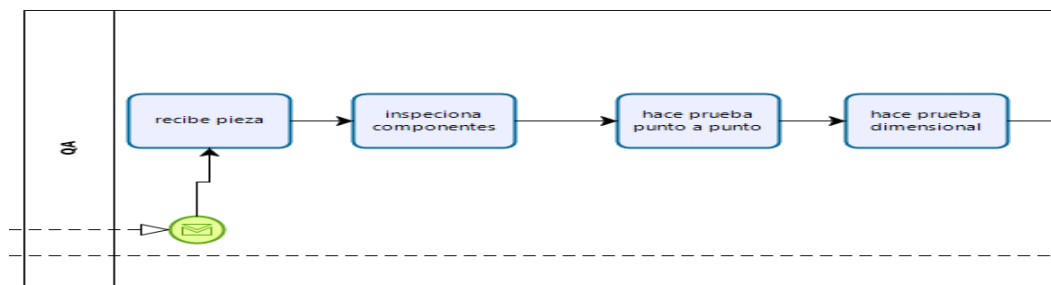
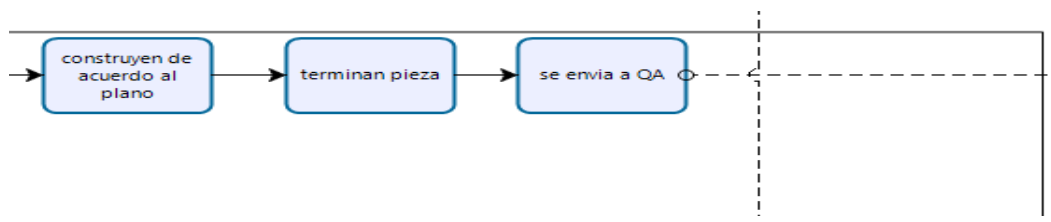
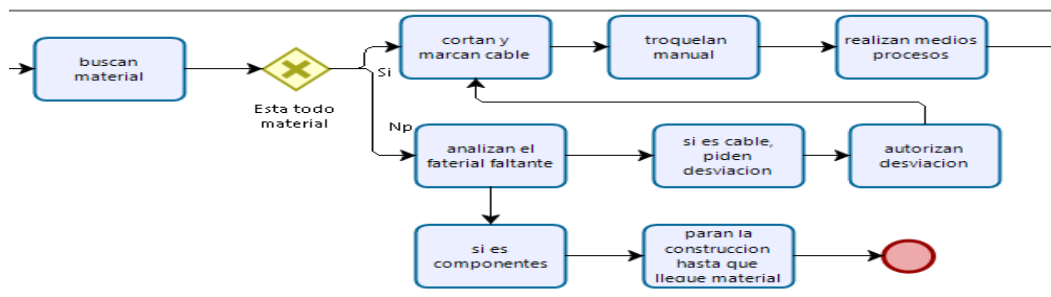
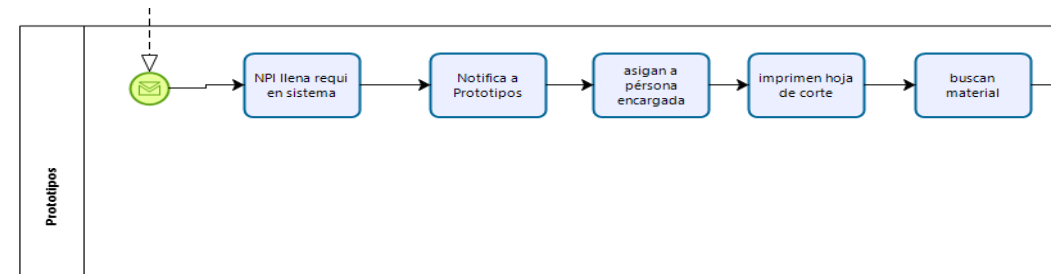
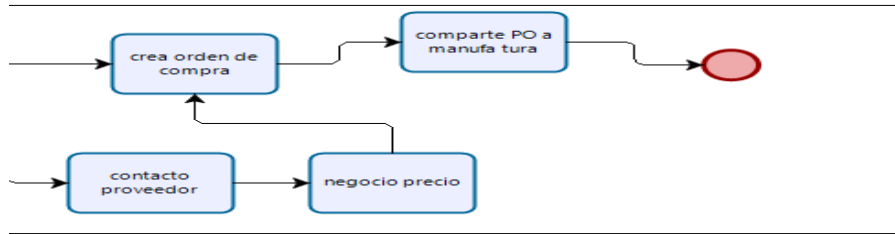
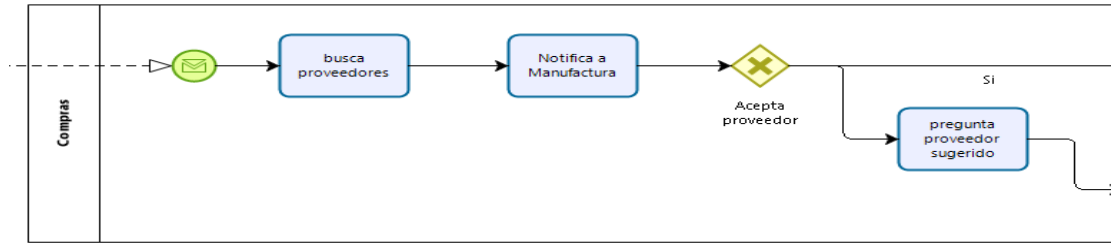


Figura 4.3 Diagrama del Equipo Interno de la Empresa Nivel 5 Representado en Bizagi®

En la Figura 4.4 se presenta secciones del modelo y la relación entre las actividades que realizan las áreas de materiales, NPI, departamento de tableros, manufactura, compras, prototipos, calidad, producto e ingeniería de aplicaciones (debido a las dimensiones generadas en el software, no es posible ponerlas todas juntas).







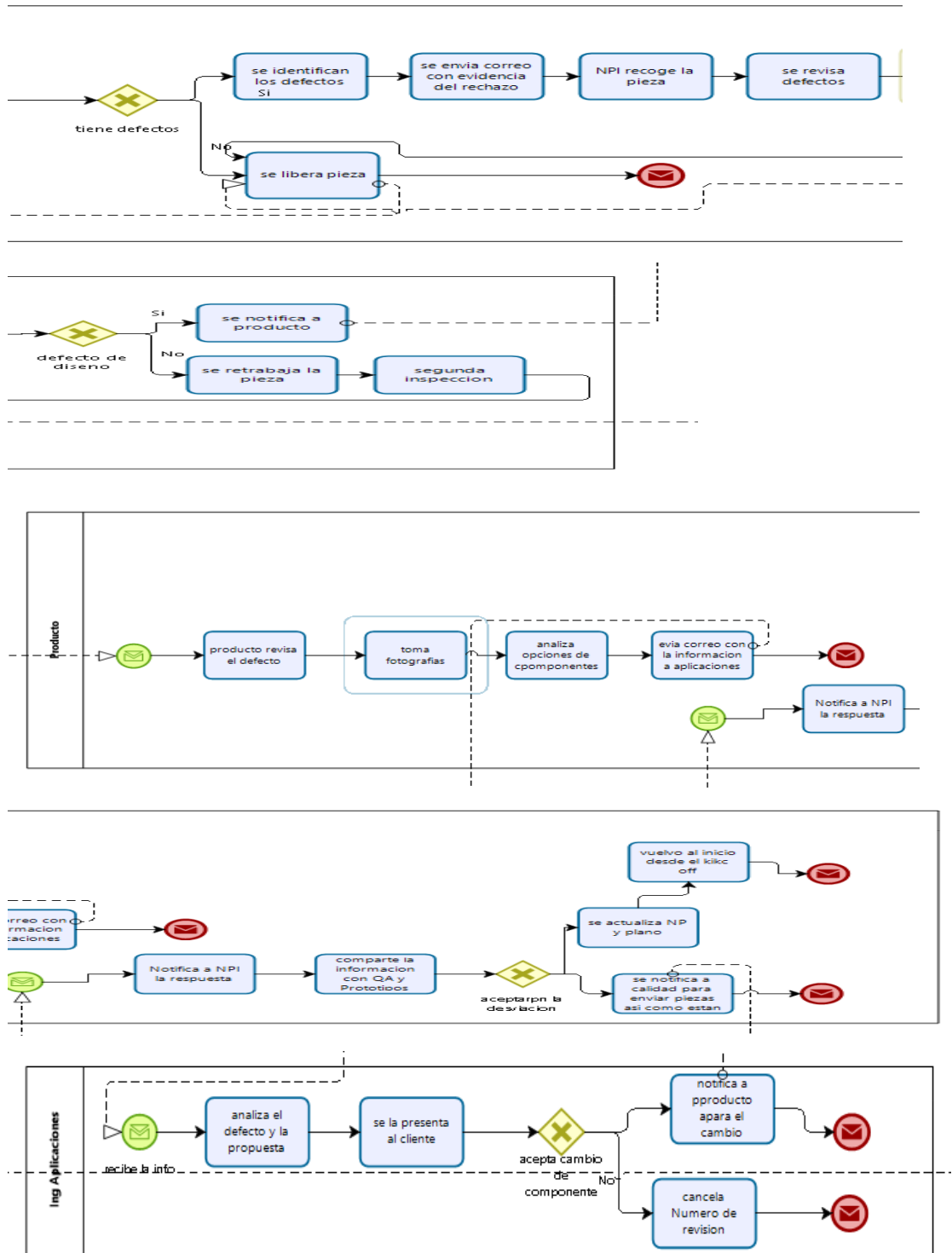


Figura 4.4 Diagrama del Equipo Interno de la Empresa Nivel 1 y 2 Representado en Bizagi®.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

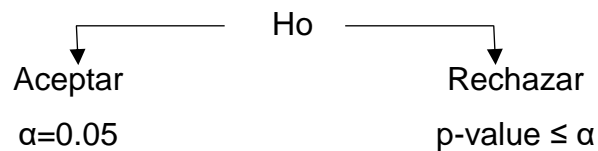
A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la investigación y simulación para probar las hipótesis planteadas y se realizó un análisis del primer escenario (como está actualmente) se hizo una propuesta (escenario alternativo) para mejorar el proceso y el sistema con los tiempos de entrega que se tienen.

5.1 Prueba de Hipótesis.

5.1.1 Hipótesis para Pruebas de Normalidad

Ho: "Los datos son normales"

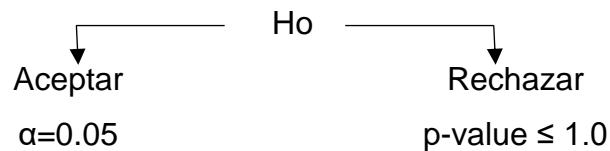
Hi: "Los datos no son normales"



5.1.2 Hipótesis para Pruebas de Varianza

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

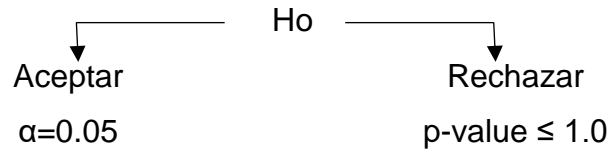
Hi: $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$



5.1.3 Hipótesis para Prueba de Diferencias de Medias

Ho: μ antes = μ después

Hi: μ antes \neq μ después



5.2 Análisis del Primer Escenario

En Bizagi® se realizó el diagrama de los departamentos mencionados. Se asigna un espacio por departamentos con sus respectivas actividades simulando los tiempos asignados para concluir las actividades. Este diagrama permite analizar la interacción de los departamentos, además da la claridad de en qué parte del proceso se deben comunicar para lograr hacer más eficiente el proceso y no dejarlo para el final. En la Figura 5.1, se muestra un ejemplo del modelo realizado en Bizagi® del departamento de materiales, que forma parte del proceso de la implementación de los cambios. Aquí se mencionan las actividades y salida con el o los departamentos con los que debe de interactuar para poder terminar sus tareas en el proceso.

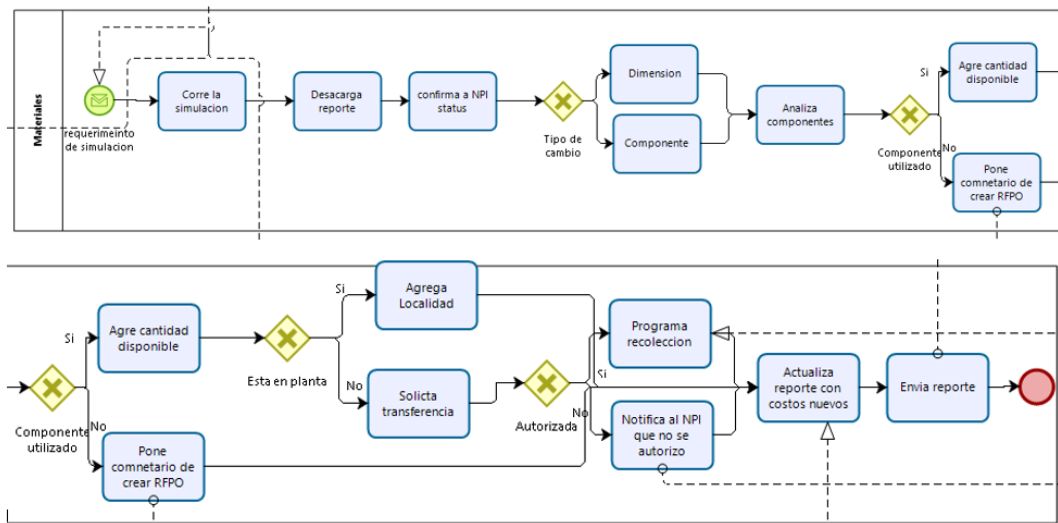


Figura 5.1 Diagrama del Departamento de Materiales Representado en Bizagi®.

Agregar fuente: Propia.

Para realizar el análisis del primer escenario se trabajó con los datos obtenidos del APQP interno del cliente, con los requerimientos recibidos por el cliente. La Tabla 5.1 muestra la información de la cantidad de cambios de ingeniería que se recibieron por mes. Para esta representación se agruparon en tres categorías; la categoría 1, que comprende los arneses que están compuestos de 2 a 80 circuitos, la categoría 2 que se componen de 81 a 161 circuitos, y la última categoría que agrupa a los arneses de 161 a 312 circuitos.

Tabla 5.1 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería Solicitados por el Cliente.

Arness	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Categoría 1	8	17	8	17		1
Categoría 2	1	3	2	28	5	
Categoría 3	1	21	6	12		
Total de cambios	10	41	16	57	5	1

Se debe remarcar que solo se logró obtener la información al mes de junio del 2023 de los cambios recibidos y lo que se habían logrado concluir hasta el mes de mayo del 2023. En el mes de enero se recibieron 10 cambios de los cuales seis se implementaron en marzo, un cambio se implementó en abril, y al final se cancelaron dos requerimientos y una solicitud está pendiente de confirmación. Para febrero se recibieron 41 cambios de ingeniería; de los cuales se cerraron dos en el mes de junio y 39 están abiertos, durante el mes de marzo se recibieron 16 cambios de los cuales solo uno se logró cerrar en el mes de junio, los demás están en proceso de implementación. En abril se recibieron 57 cambios, de los cuales a la primera semana de junio todos estaban en estatus abierto, en el mes de mayo se recibieron cinco requerimientos de los cambios de ingeniería y estaban por iniciar el proceso de implementación.

En la simulación se utilizaron los históricos de la Tabla 5.1, como entradas al sistema, durante el mes de enero se recibieron 10 cambios y así

sucesivamente. Durante la simulación se hicieron tres corridas diferentes, se agruparon los requerimientos en las tres categorías mencionadas, el antes (como está el proceso actualmente y los tiempos de respuesta de cada departamento).

En esta parte de la investigación, se utilizó el mismo modelo y los tiempos asignados para completar las actividades, estos varían en cada categoría ya que depende de la complejidad del arnés.

La Tabla 5.2 muestra los resultados obtenidos en la primera simulación, en esta se consideraron los arneses que tienen un rango de dos a 80 circuitos, se podría decir que los más sencillos de fabricar en cuanto a construcción. El tiempo promedio asignado por los coordinadores de NPI para estos arneses es de ocho semanas (48 días trabajando seis días por semana, se considera ya tiempo extra en el área de prototipos y producción), es necesario mencionar que las personas que están involucrados en estos procesos, algunos son administrativos o técnicos por los que no es posible hacer una toma de tiempos exacta como se podría realizar en una línea de producción. En este primer escenario se observa que el tiempo para concluir el proceso interno de un cambio de ingeniería está en promedio dentro de 60 días, lo que está fuera del tiempo promedio asignado por el coordinador (cabe resaltar que se enfocan en varios requerimientos a la vez, tanto de este cliente como otros clientes que tiene la planta).

En la primer corrida, como resultado de la simulación, se obtuvieron los valores de la Tabla 5.2, arrojando que el tiempo mínimo es de 54 días, mientras que el máximo es de 64 días cuando el tiempo estimado es de 48 días, con el tiempo mínimo hay un rango de seis días para poder completar, sin embargo el tiempo promedio de implementación es de 57 días, aun así sigue saliendo del tiempo pactado, se tendría que reducir tiempo en algunas tareas y asegurarse de que se cumplan en tiempo y forma para lograr la implementación.

Tabla 5.2 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnesees de 2 a 80 circuitos.

Fuente: Bizaggi®

Scenario information							
Name	Scenario 1						
Time unit	Minutes						
Duration	365,00:00:00						
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	
Hyster Yale Group	Process	5	5	54d 5h 45m	64d 5h 45m	57d 5h 45m	
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d	
Diseña el arness	Task	8	8	5d	5d	5d	
Libero plano	Gateway	8	8				
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d	
MessageStart	Start event	0					
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	38d 5h 45m	38d 5h 45m	38d 5h 45m	

En la segunda corrida se asignaron los tiempos asignados a completar las tareas en arneses que se conforman de 81 a 160 circuitos, aquí se estima que el tiempo de implementación es de 10 semanas (60 días trabajando), como resultado de cinco ciclos del proceso de implementación, se obtuvieron los valores de la tabla de la **Tabla 5.3** , arrojando que el tiempo mínimo es de 61 días mientras que el máximo es de 71 días, cuando el tiempo estimado es de 60 días, con el tiempo mínimo hay una rango de 1 día para poder completar, sin embargo el tiempo promedio de implementación es de 64 días, aun así sigue excediendo el tiempo pactado, se tendría que reducir tiempo en algunas tareas y asegurarse de que se cumplan en tiempo y forma para lograr la implementación a tiempo.

Tabla 5.3 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnesees de 81 a 160 Circuitos.

Fuente: Bizaggi®

Scenario information							
Name	Scenario 1						
Time unit	Minutes						
Duration	365,00:00:00						
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	
Hyster Yale Group	Process	5	5	61d 5h 45m	71d 5h 45m	64d 5h 45m	
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d	
Diseña el arnese	Task	8	8	5d	5d	5d	
Libero plano	Gateway	8	8				
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d	
MessageStart	Start event	0					
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	45d 5h 45m	45d 5h 45m	45d 5h 45m	

En la tercera corrida se asignaron los tiempos asignados a completar las tareas en arnesees que se conforman de 161 a 312 circuitos, aquí se estima que el tiempo de implementación es de 12 semanas (72 días trabajando seis días por semana). Como resultado de cinco simulaciones se obtuvieron los valores de la tabla de la **Tabla 5,4** , arrojando que el tiempo mínimo es de 75 días mientras que el máximo es de 85 días, cuando el tiempo estimado es de 72 días, con el tiempo mínimo hay una rango de tres días para poder completar, sin embargo el tiempo promedio de implementación es de 78 días, los resultados obtenidos siguen saliendo del tiempo pactado para concluir la implementación , se tendría que reducir tiempo en algunas tareas y asegurarse de que se cumplan en tiempo y forma para lograr la implementación a tiempo.

Tabla 5.4 Resultados en Bizagi® de la Primera Simulación, Arnesees de 161 a 312 Circuitos.

Fuente: Bizaggi®

Scenario information							
Name	Scenario 1						
Time unit	Minutes						
Duration	365,00:00:00						
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	
Hyster Yale Group	Process	5	5	75d 13h 15m	85d 13h 15m	78d 13h 15m	
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d	
Diseña el arness	Task	8	8	5d	5d	5d	
Libero plano	Gateway	8	8				
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d	
MessageStart	Start event	0					
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	57d 13h 15m	57d 13h 15m	57d 13h 15m	

Con los resultados obtenidos se procede a realizar varias pruebas estadísticas para verificar los resultados obtenidos. En la Tabla 5.5 se presentan los resultados obtenidos de las corridas de simulación de la categoría uno, antes de los cambios sugeridos. Lo primero a revisar es la normalidad de los datos, ya que la prueba estadística aplicable depende de si se conoce la distribución de probabilidad que siguen los datos; planteamos la siguiente hipótesis;

Ho; Los datos son normales.

Hi; Los datos no son normales.

Tabla 5.5 Consolidado de los Resultados de las Simulaciones Primer Escenario.

		categoria 1
Mes	solicitudes de cambio	antes
enero	8	54d 5hrs 45m
febrero	17	59d 12hrs 48m
marzo	8	56d 2hrs 45m
abril	12	55d 9hrs 59m
mayo	0	0
		categoria 2
Mes		antes
enero	1	66d 5hrs 45m
febrero	3	62d 21hrs 45m
marzo	2	63d 17hrs 45m
abril	28	62d 3hrs 10m
mayo	5	64d 5hrs 45m
		categoria 3
Mes		antes
enero	1	80h 13hrs 15m
febrero	21	76d 12hrs 6m
marzo	6	78d 1hr 15m
abril	12	76d 19hrs 15m
mayo	0	0

Se utilizo método de Anderson Darling para realizar las pruebas de normalidad en los resultados obtenidos de las simulaciones. La Tabla 5.6 muestra el consolidado de los datos para categoría 1.

Tabla 5.6 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Primer Escenarios para Arneses Categoría 1 (se toman turnos de 8hrs).

		categoria 1
Mes	solicitudes de cambio	antes
enero	8	54d 5hrs 45m
febrero	17	59d 12hrs 48m
marzo	8	56d 2hrs 45m
abril	12	55d 9hrs 59m
mayo	0	0

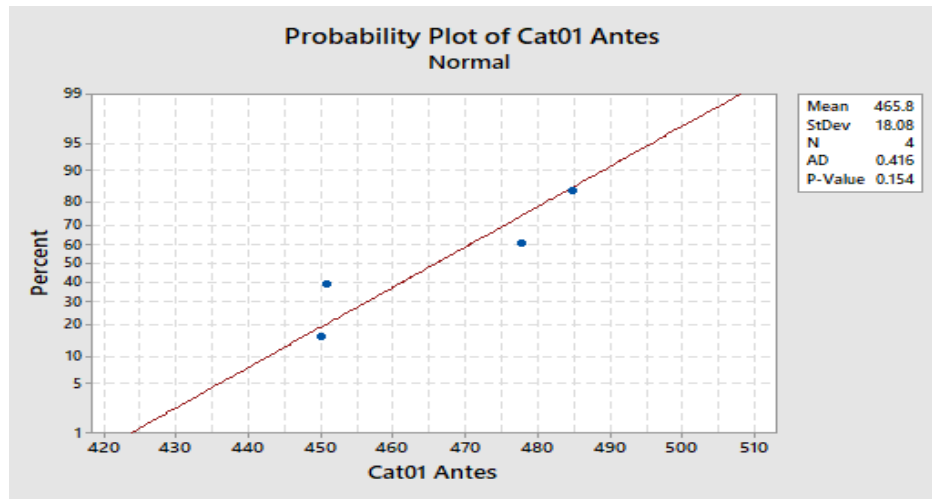


Figura 5.6 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 1 Antes.
Fuente Minitab®

Para la primera categoría en el primer escenario se realizó la prueba con el estadístico de Anderson- Darling y concluimos con que los datos para esta categoría son normales, dado que la probabilidad de cometer el error tipo I, es mayor (0.154) que la probabilidad de cometer este error definido por el nivel de confianza (0.05). En la Figura 5.7 se explica esta conclusión gráficamente. Utilizando el mismo método (Anderson Darling).

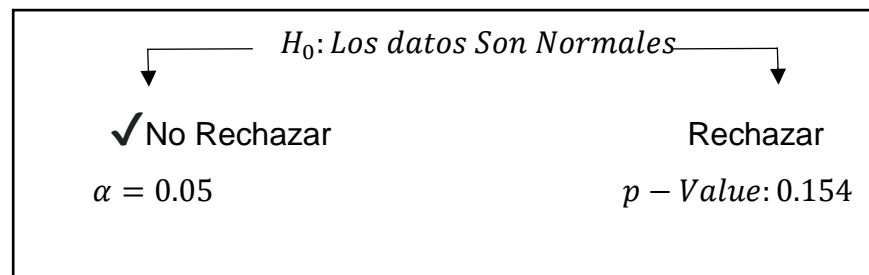


Figura 5.7 Conclusión Grafica de la Prueba Normalidad de la Categoría 1 Antes.

Utilizando el mismo método de Anderson Darling se realizaron las mismas pruebas para la categoría dos, primer escenario a continuación, los resultados. En la Tabla 5.7 se presentan los tiempos obtenidos de la corrida de simulación de la categoría dos, antes de los cambios sugeridos. Lo primero a

revisar es la normalidad de los datos, ya que la prueba estadística aplicable depende de si se conoce la distribución de probabilidad que siguen los datos; planteamos la siguiente hipótesis;

Ho; Los datos son normales.

Hi; Los datos no son normales.

Tabla 5.7 Tiempos Obtenidos de la Simulación de los Escenarios Alternos para Arneses Categoría 2

Mes		antes
enero	1	66d 5hrs 45m
febrero	3	62d 21hrs 45m
marzo	2	63d 17hrs 45m
abril	28	62d 3hrs 10m
mayo	5	64d 5hrs 45m

Para la segunda categoría en el primer escenario se realizó la prueba con el estadístico de Anderson- Darling y concluimos con que los datos para esta categoría son normales, dado que la probabilidad de cometer el error tipo I, es mayor (0.348) que la probabilidad de cometer este error definido por el nivel de confianza (0.05). En la Figura 5.9 se explica esta conclusión gráficamente.

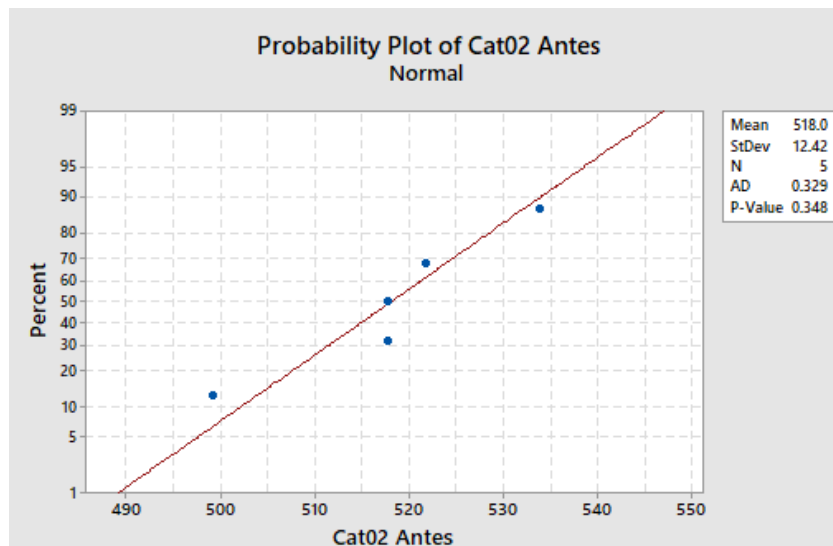


Figura 5.8 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 2 Antes.

Fuente Minitab®

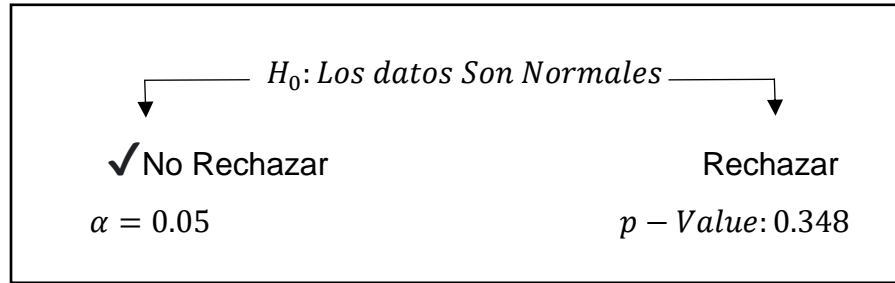


Figura 5.9 Conclusión Grafica de la Prueba Normalidad de la Categoría 2 Antes.

Para la categoría tres, primer escenario se utilizó el mismo método de Anderson Darling, se realizaron las mismas pruebas para la categoría 2 primer escenario, a continuación, los resultados. En la Tabla 5.8 se presentan los tiempos obtenidos de la corrida de simulación de la categoría dos, antes de los cambios sugeridos. Lo primero a revisar es la normalidad de los datos, ya que la prueba estadística aplicable depende de si se conoce la distribución de probabilidad que siguen los datos; planteamos la siguiente hipótesis;

H_0 ; Los datos son normales.

H_1 ; Los datos no son normales.

Para la categoría 3 obtuvimos los siguientes resultados

Tabla 5.8 Tiempos Obtenidos de la Simulación de los Escenarios para Arneses Categoría 3.

Mes		antes
enero	1	80h 13hrs 15m
febrero	21	76d 12hrs 6m
marzo	6	78d 1hr 15m
abril	12	76d 19hrs 15m
mayo	0	0

Para los resultados de la tercera categoría primero se realizó la prueba de normalidad, los resultados para la simulación del antes de lo propuesto los resultados fueron normales, sin embargo, para la prueba de normalidad de los resultados del escenario alterno los datos no son normales, por ende, se realizó

una prueba no paramétrica y no utilizamos medias si no las medianas.

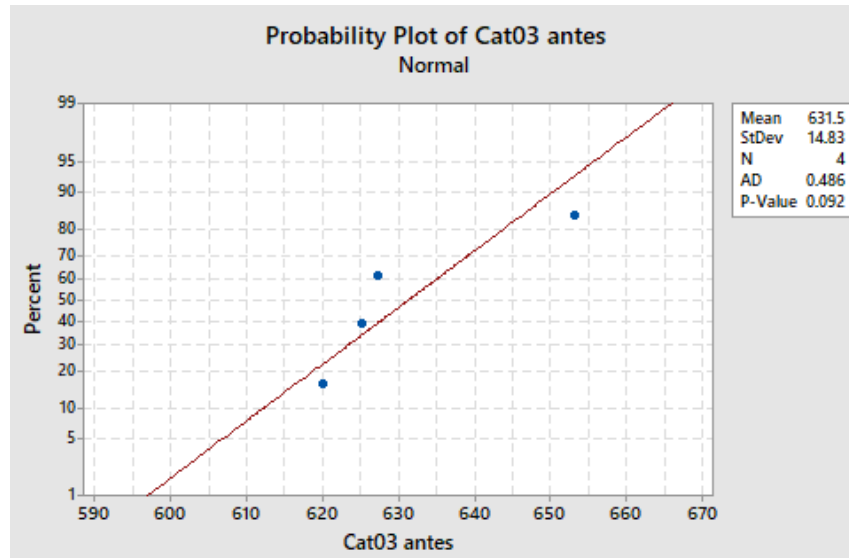


Figura 5.10 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Antes.
Fuente Minitab®

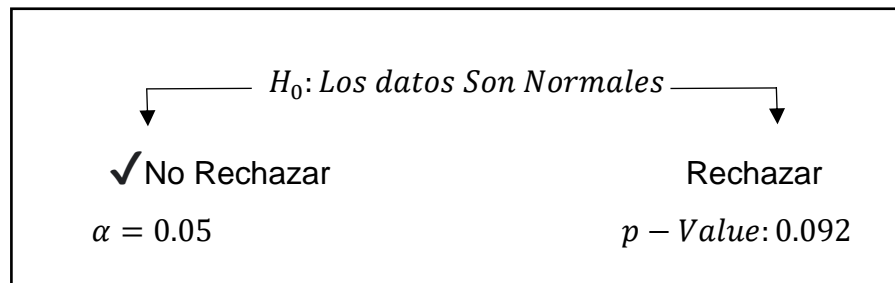


Figura 5.11 Conclusión Grafica de la Prueba Normalidad de la Categoría 3 Antes.

Para la tercera categoría en el primer escenario se realizó la prueba con el estadístico de Anderson- Darling y concluimos con que los datos para esta categoría son normales, dado que la probabilidad de cometer el error tipo I, es mayor (0.092) que la probabilidad de cometer este error definido por el nivel de confianza (0.05). En la Figura 5.11 se explica esta conclusión gráficamente.

5.3 Analisis del Proceso para Propuestas de Mejora.

Durante estas simulaciones se detectó que, en el departamento de producción y planeación, la actividad de corte consume mucho tiempo. Para la

primera categoría se asignan 14 días para completar el corte de los circuitos requeridos para continuar el proceso (dos a 80 circuitos). En la segunda categoría se asignan 18 días para concluir la actividad (81 a 160 circuitos), y para la última categoría son 21 días requeridos (161 a 312 circuitos). Para el primer requerimiento de un nuevo número de parte la demanda más grande por orden de compra es de seis arneses.

Se debe mencionar, que el proceso de corte que se emplea actualmente es que el día viernes antes de las 3:00 pm cada coordinador debe de enviar una lista de los números de parte que se trabajaran durante la siguiente semana para que entren en el plan de corte de la semana. Sin embargo, en el área de corte hay un plan diferente, pues la prioridad de este departamento es cortar lo que sería producción regular, seguido de lo que deja ventas, tercero lo que tiene rezagado y al final del plan de producción quedan los cortes solicitados por los NPI, (ya que aquí entran los supervisores de piso, pidiendo soporte para concluir con la producción requerida). Además, si la orden de compra que está en el BPC, solo está por tres piezas, solo eso cortan en caso de que algún circuito se dañe en los medios procesos se debe de pedir una nueva orden de corte y se puede consumir hasta cinco días más. Entre más grande sea un grupo (circuitos requeridos para construir más tarde en ser producido en el área de corte).

La capacidad en el área de corte está muy restringida, pues solo cuentan con 15 máquinas para más de ocho clientes, las maquinas son un poco antiguas y siempre hay una o dos máquinas sin trabajar.

En este proceso de simulación se comprobó que hay actividades que se pueden realizar de manera simultánea y hacer un poco más efectivo el proceso sin importar el orden de cómo vayan cerrando pendientes, pero más que nada necesitan agregar recursos para empezar a concluir los cambios de ingeniería, ya que en este momento están sobredemandados en los cambios de ingeniería.

En el departamento de corte solo se realiza la propuesta de crear un tercer turno, el cual se dedique a cortar solamente los circuitos de los cambios de ingeniería, requeridos por el coordinador de NPI. En lugar de tener un retraso de más de 12 días, se podrían asegurar en los grupos de circuitos en menos de cinco días, evitando así tener más de siete días de espera en volver a solicitar el corte (por la planeación de corte que se emplea actualmente).

5.4 Analisis del Segundo Escenario

Para el segundo escenario se realizaron las simulaciones con la mejora solo en el departamento de planeación exclusivamente en lo que respecta el corte de circuitos. Se asignó una semana en la actividad mencionada sin afectar la complejidad del arnés, por la capacidad que llega a tener una máquina de corte komax®. Se utilizó el mismo modelo y las mismas entradas de la tabla 5.9.

Tabla 5.9 Consolidado de los Requerimientos de Cambios de Ingeniería Solicitados por el Cliente.

Arness	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Categoría 1	8	17	8	17	
Categoría 2	1	3	2	28	5
Categoría 3	1	21	6	12	
total de cambios	10	41	16	57	5

La Tabla 5.10 muestra los resultados obtenidos en la primera simulación en el escenario alterno. Para la categoría 1, el tiempo mínimo es de 45 días, mientras que el máximo es de 55 días, el tiempo promedio de implementación es de 48 días. Este tiempo de implementación cumple con lo establecido con el cliente.

Tabla 5.10 Resultados en Bizagi® de la Segunda simulación, Aarneses de 2 a 80 Circuitos.

Fuente: Bizaggi®

Scenario information							
Name	Scenario 1						
Time unit	Minutes						
Duration	365,00:00:00						
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	
Hyster Yale Group	Process	5	5	45d 5h 45m	55d 5h 45m	48d 5h 45m	
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d	
Diseña el arness	Task	8	8	5d	5d	5d	
Libero plano	Gateway	8	8				
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d	
MessageStart	Start event	0					
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	29d 5h 45m	29d 5h 45m	29d 5h 45m	

Para la categoría 2, la Tabla 5.11 mostró que el tiempo mínimo es de 51 días mientras que el máximo es de 61 días, el tiempo promedio de implementación es de 54 días, este tiempo de implementación están dentro del rango de lo propuesto al cliente, que son 60 días para el embarque de las piezas.

Tabla 5.11 Resultados en Bizagi® de la Segunda Simulación, Arneses de 81 a 160 Circuitos.

Fuente: Bizaggi®

Scenario information							
Name	Scenario 1						
Time unit	Minutes						
Duration	365,00:00:00						
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time	
Hyster Yale Group	Process	5	5	51d 5h 45m	61d 5h 45m	54d 5h 45m	
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d	
Diseña el arness	Task	8	8	5d	5d	5d	
Libero plano	Gateway	8	8				
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d	
MessageStart	Start event	0					
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	35d 5h 45m	35d 5h 45m	35d 5h 45m	
recibe piezas	Task	5	5	3d	3d	3d	

Para la categoría 3, la Tabla 5.12 mostró que el tiempo mínimo es de 68 días mientras que el máximo es de 78 días, el tiempo promedio de implementación es de 71 días. Este tiempo de implementación cumple con lo establecido, pues desde un inicio se fijó un plazo de 72 días para concluir el proceso.

Tabla 5.12 Resultados en Bizagi® de la Segunda Simulación, Arnese de 161 a 312 Circuitos.
Fuente: Bizaggi®

Scenario information						
Name	Scenario 1					
Time unit	Minutes					
Duration	365,00:00:00					
Name	Type	Instances completed	Instances started	Min. time	Max. time	Avg. time
Hyster Yale Group	Process	5	5	68d 13h 15m	78d 13h 15m	71d 13h 15m
Planea el cambio	Task	5	5	7d	7d	7d
Diseña el arness	Task	8	8	5d	5d	5d
Liberio plano	Gateway	8	8			
enviar planos al departamento de aplicaciones	Task	5	5	1d	1d	1d
MessageStart	Start event	0				
recibe Numero de rastreo	Task	5	5	50d 13h 15m	50d 13h 15m	50d 13h 15m
recibe piezas	Task	5	5	5d	5d	5d

Concluidas las simulaciones se obtuvieron los tiempos para realizar las estadísticas mencionadas en la parte anterior y realizar la comparación. La Tabla 5.13 muestra el consolidado de los resultados obtenidos de las simulaciones del segundo escenario ya con las mejoras propuestas.

Tabla 5.13 Consolidado de los Resultados de las Simulaciones.

		categoria 1
Mes	solicitudes de cambio	despues
enero	8	47d 2hrs 45m
febrero	17	46d 9hrs 59m
marzo	8	47d 2hrs 45m
abril	12	46d 9hrs 59m
mayo	0	0
		categoria 2
Mes		despues
enero	1	56d 5hrs 45m
febrero	3	52d 21hrs 45m
marzo	2	53d 17hrs 45m
abril	28	52d 3hrs 10m
mayo	5	54d 5hrs 45m
		categoria 3
Mes		despues
enero	1	73d 13hrs 15m
febrero	21	69d 12hrs 6m
marzo	6	71d 1hr 15m
abril	12	69d 19hrs 15m
mayo	0	0

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar varias pruebas estadísticas para verificar los resultados obtenidos.

Lo primero a revisar es la normalidad de los datos, ya que la prueba estadística aplicable depende de si se conoce la distribución de probabilidad que siguen los datos; planteamos la siguiente hipótesis;

Ho; Los datos son normales

Hi; Los datos no son normales

Se utilizaron los resultados de la Tabla 5.14 Que son los tiempos obtenidos de la simulación del escenario alterno para la categoría 1.

Tabla 5.14 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alternativo para Arnéses Categoría 1

Mes	solicitudes de cambio	categoria 1
		despues
enero	8	47d 2hrs 45m
febrero	17	46d 9hrs 59m
marzo	8	47d 2hrs 45m
abril	12	46d 9hrs 59m
mayo	0	0

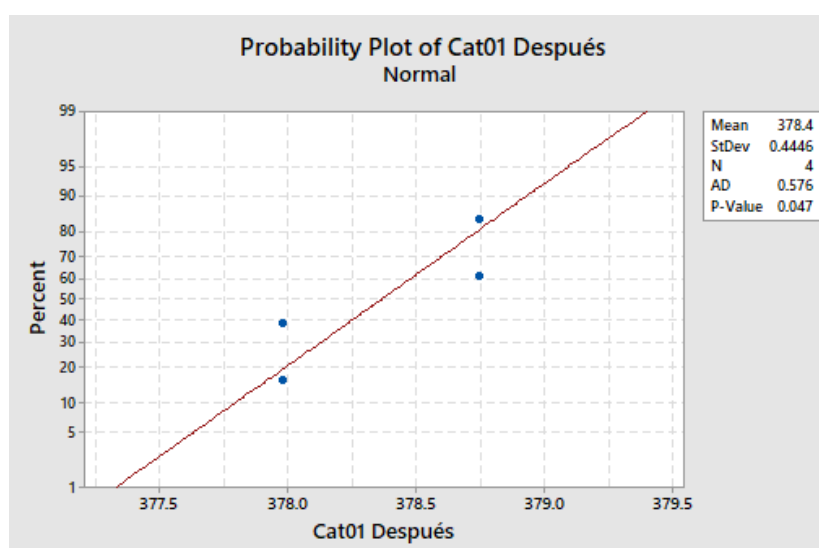


Figura 5.12. Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 1 Después.
Fuente Minitab®.

Con estos resultados, no se rechaza la hipótesis Nula (H_0), debido a que los datos obtenidos en los dos escenarios son normales. Una vez conocida la distribución de probabilidad, se procede a aplicar la prueba de diferencia de medias de t- student, el cálculo del estadístico de prueba depende de la igualdad de varianzas entre las dos poblaciones, por lo que se realizó la prueba de varianzas para verificar si estas son iguales, se prueba la siguiente hipótesis;

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_0: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

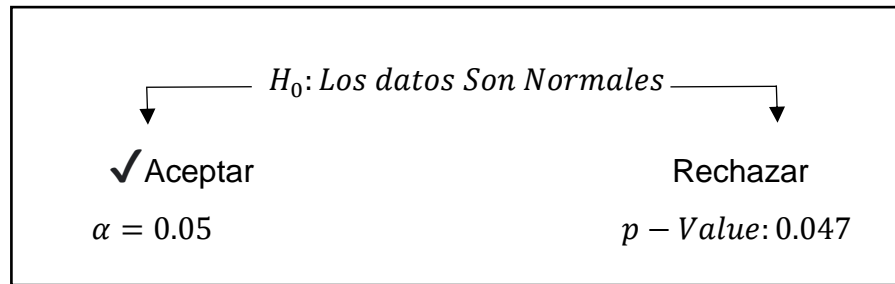


Figura 5.13 Conclusión Grafica de la Prueba Normalidad de la Categoría 1 Después.

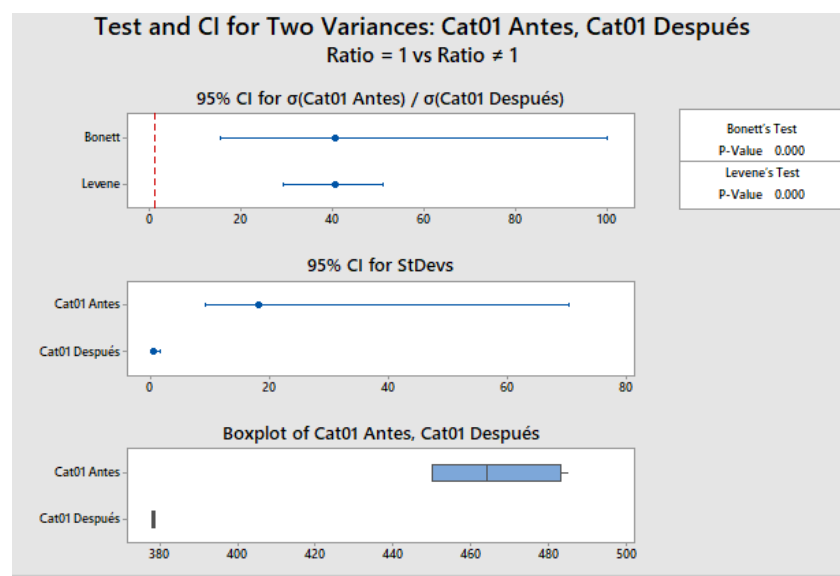


Figura 5.14 Gráfico de prueba de varianzas categoría 1.
Fuente Minitab®.

Con la figura 5.14 se concluye que las varianzas son diferentes y se rechaza la hipótesis nula, debido a que H_0 : es $\alpha=0.05$, pero resultado del estudio reflejo un p-valor de 0.000, por lo tanto, concluimos que las varianzas son diferentes y el rechazo la hipótesis nula.

Por último, se realiza la prueba de diferencia de medias, donde tendremos las siguientes hipótesis: después

$$H_0: \mu_1^{\text{Después}} = H_0: \mu_1^{\text{Antes}}$$

$$H_0: \mu_1^{\text{Después}} \neq H_0: \mu_1^{\text{Antes}}$$

Minitab® calcula el Intervalo de confianza para la diferencia de medias dado como: $58.68 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 116.23$. dado que esta diferencia entre las medias poblacionales siempre es positiva, se concluye que la población 1 siempre es mayor que la población 2. En nuestro caso, los tiempos de la categoría 1, antes de los cambios sugeridos, siempre son mayores que estos tiempos considerando los cambios propuestos.

Por lo tanto, rechazamos H_0 : es $\alpha=0.05$ debido a que la H_1 : P-Valué 0.002. La muestra de los tiempos de la categoría 1 antes es mayor que la muestra de los tiempos de la categoría 1 después.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la categoría 2 del escenario alterno.

Tabla 5.15 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alterno para Arneses Categoría 2

		categoria 2
Mes		despues
enero	1	56d 5hrs 45m
febrero	3	52d 21hrs 45m
marzo	2	53d 17hrs 45m
abril	28	52d 3hrs 10m
mayo	5	54d 5hrs 45m

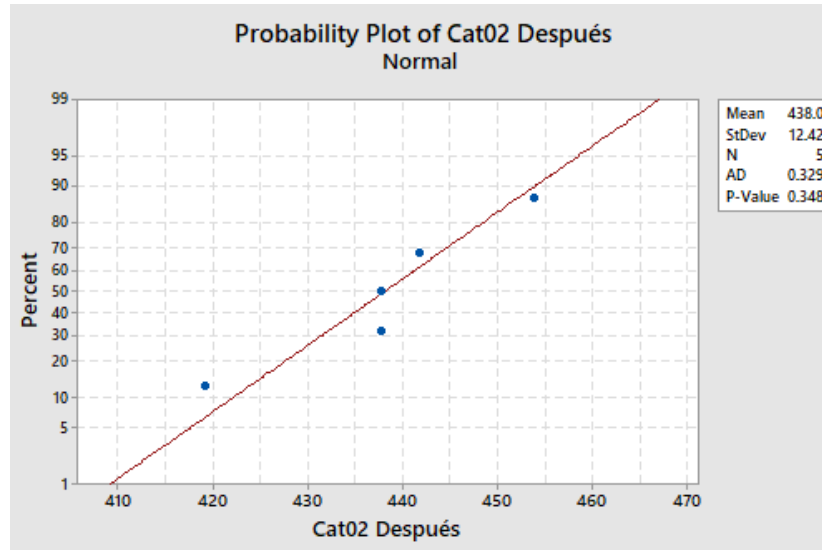


Figura 5.15 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 2 Después.
Fuente Minitab®

Para la categoría dos, segundo escenario sucede lo mismo, aceptamos la hipótesis Nula (H_0), debido a que los datos obtenidos en los 2 escenarios son normales. Una vez conocida la distribución de probabilidad, se procede a aplicar la prueba de diferencia de medias de t- student, el cálculo del estadístico de prueba depende de la igualdad de varianzas entre las dos poblaciones, por lo que realizamos la prueba de varianzas para verificar si estas son iguales, se prueba la siguiente hipótesis;

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_0: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

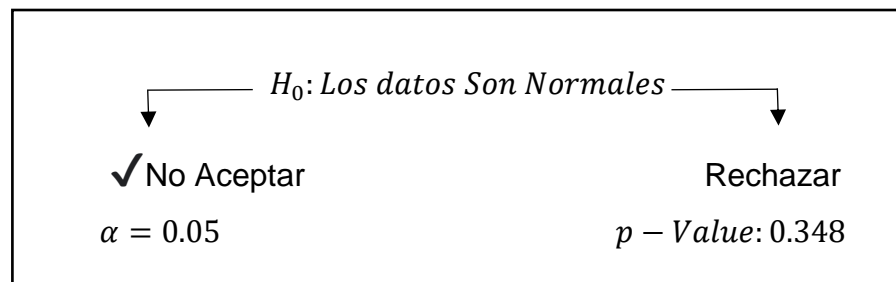


Figura 5.16 Conclusión Grafica de la Prueba Normalidad de la Categoría 2 Después.

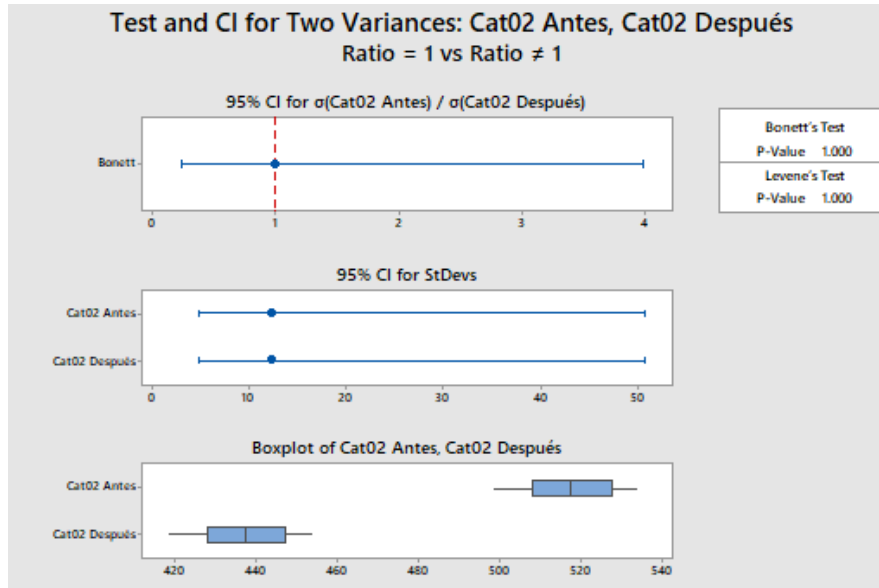


Figura 5.17 Gráfico de Prueba de Varianzas Categoría 2 Después.
Fuente Minitab®

Con la Figura 5.17 podemos concluir que las varianzas son diferentes y rechazamos la hipótesis nula, debido a que H_0 : es $\alpha=0.05$, pero resultado del estudio reflejo un p-value de 1.000, por lo tanto, concluimos que las varianzas son diferentes y rechazo la hipótesis nula.

Por último, vamos a realizar la prueba de diferencia de medias, donde tendremos las siguientes hipótesis

$$H_0: \mu_1^{Antes} = H_0: \mu_1^{Despues}$$

$$H_0: \mu_1^{Antes} \neq H_0: \mu_1^{Despues}$$

Minitab® calcula el Intervalo de Confianza para la diferencia de medias dado como: $61.88 \leq \mu_1 - \mu_2 \leq 98.12$. dado que esta diferencia entre las medias poblacionales siempre es positiva, se concluye que la población 1 siempre es mayor que la población 2, en nuestro caso, los tiempos de la categoría 2, antes de los cambios sugeridos, siempre son mayores que estos tiempos considerando los cambios propuestos.

Por lo tanto, rechazamos H_0 : es $\alpha=0.05$ debido a que la H_1 : P-Valu  0.1
 La muestra de los tiempos de la categoría 1 antes es mayor que la muestra de los tiempos de la categoría 1 después.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la categoría 3 del escenario alterno.

Tabla 5.16 Tiempos Obtenidos de la Simulación del Escenario Alterno para Arnese Categoría 3

		categoria 3
Mes		despues
enero	1	73d 13hrs 15m
febrero	21	69d 12hrs 6m
marzo	6	71d 1hr 15m
abril	12	69d 19hrs 15m
mayo	0	0

Los datos no cumplieron con la prueba de normalidad en ninguna de las tres pruebas disponibles (Anderson-Darling, Ryan-Joiner y Kolmogorov-Smirnov), por lo que se aplicó una prueba No paramétrica, en este caso, Mann-Whitney para la diferencia de Medianas.

Con los datos obtenidos de minitab  concluimos con lo siguiente, la mediana antes $626.25 \geq$ mediana después 570.25.

Por lo tanto, rechazamos H_0 : es $\alpha=0.05$ debido a que la H_1 : P-Value 0.0304

La muestra de los tiempos de la categoría 3 antes es mayor que la muestra de los tiempos de la categoría 3 después, por lo tanto, tenemos una reducción en los tiempos con las mejoras propuestas en el escenario alterno.

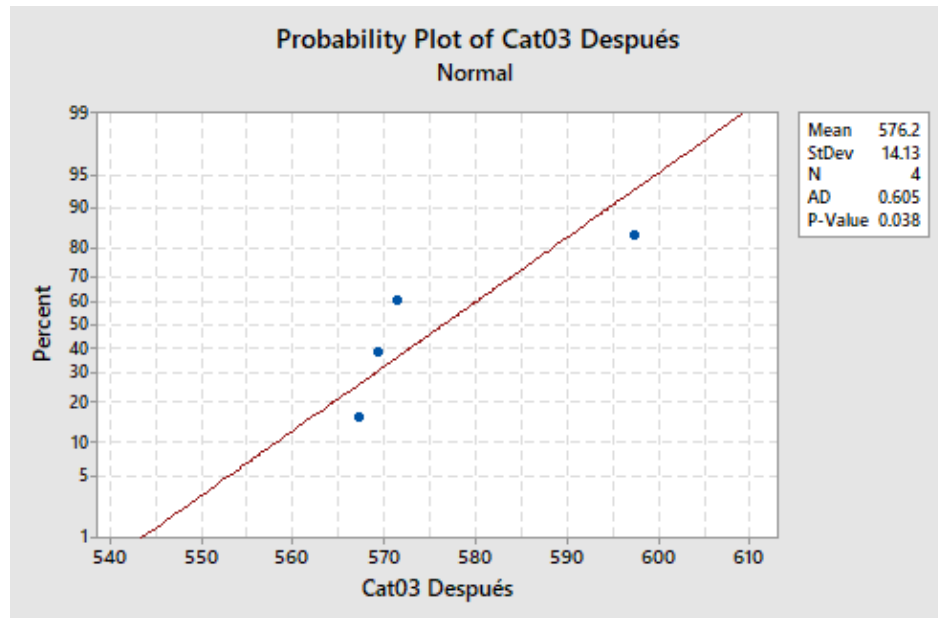


Figura 5.18 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con Prueba de Anderson- Darling.
Fuente Minitab®

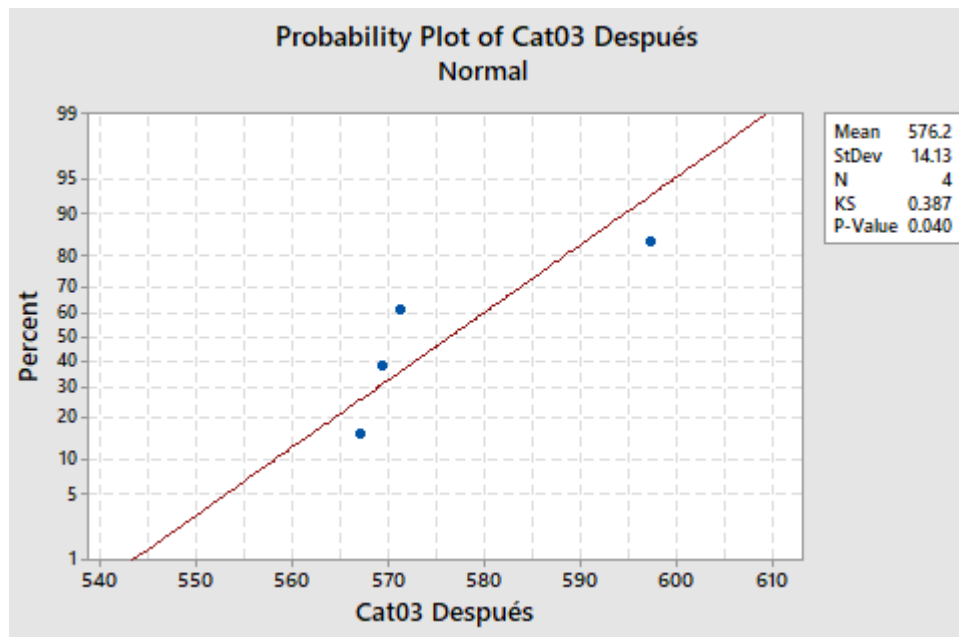


Figura 5.19 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con Prueba Rayn-Joiner.
Fuente Minitab®

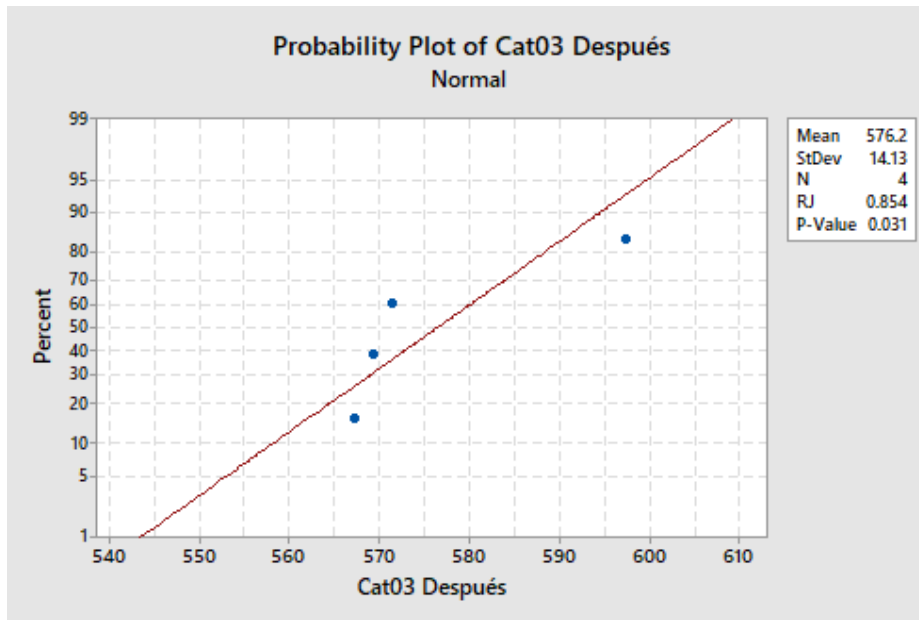


Figura 5.20 Gráfico de Prueba de Normalidad de Categoría 3 Después con prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Fuente Minitab®

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proceso se diseñó inicialmente para facilitar el cumplimiento de las actividades necesarias para la implementación de los cambios de ingeniería, pero una mala administración en el proceso lo fue haciendo más industrial. Al contrario de facilitar las cosas, se hizo más complicado, ya que no es capaz de verse como un sistema integrado por departamentos cuyas actividades se deben trabajar en conjunto, si no que esperan que un departamento concluya las actividades para empezar las actividades de otro departamento. Debe de resaltarse que como consecuencia se está comprometiendo la capacidad, pues se van retrasando la implementación de los cambios de ingeniería, por no concluir en el tiempo estimado mientras se siguen recibiendo más cambios de ingeniería para implementar, No se consideran capacidades de los otros departamentos en la planeación del proceso y fechas promesas para concluir el proceso.

En esta investigación se mostró que la empresa no tiene la capacidad para cumplir con las fechas pactadas y lograr darle seguimiento a todas las actividades que se despliegan de un cambio de ingeniería. Además, la característica de sus clientes, ya que los requerimientos y constantes cambios en sus productos son mínimos y con mucha mezcla de los números de parte no es conveniente tener almacenado material (respecto al área de corte). La demanda de variedad sobrepasa la capacidad de la administración de las maquinas, debido a que consumen más dos o tres semanas tener un corte de circuitos necesarios para la construcción. La empresa considera que por el volumen anual que solicita el cliente no es necesario invertir en maquinaria, otra variante que les afecta es la capacidad del personal administrativo, pues un solo coordinador de NPI tiene tres clientes que trabajan en condiciones similares en cuanto a la demanda. Al igual que los ingenieros de manufactura, a esto los ingenieros de manufactura trabajan con actividades propias de la planta que demandan más tiempo, no solo lo que va llegando de cambios de ingeniería.

La mejora propuesta de solicitar un tercer turno con exclusividad a preparar el corte de los circuitos de los arneses que están en espera de implementación de un cambio de ingeniería, mostró que es posible cumplir con las fechas pactadas sin requerir de trabajos extraordinarios. La demanda de cambios de ingeniería no es constante, la necesidad de trabajar este turno no es permanente ya que unos meses son mínimos los cambios de ingeniería solicitados. Incluso con una buena administración o seguimiento se podría concluir antes del tiempo preestablecido. A continuación, se agrega la evidencia obtenida de Minitab®, donde se hace la comparación de los resultados de las simulaciones.

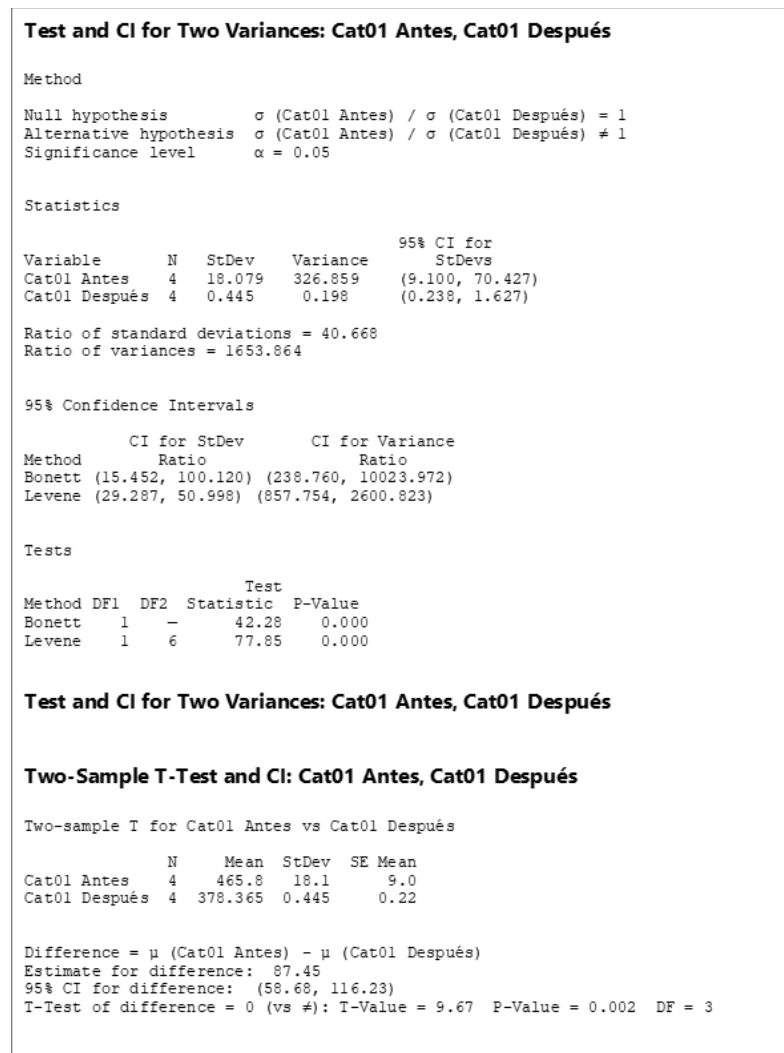


Figura 6.1 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 1
 Fuente Minitab®.

Test and CI for Two Variances: Cat02 Antes, Cat02 Después

Method

Null hypothesis σ (Cat02 Antes) / σ (Cat02 Después) = 1
Alternative hypothesis σ (Cat02 Antes) / σ (Cat02 Después) \neq 1
Significance level α = 0.05

Statistics

Variable	N	StDev	Variance	95% CI for StDevs
Cat02 Antes	5	12.422	154.298	(4.998, 50.771)
Cat02 Después	5	12.422	154.298	(4.998, 50.771)

Ratio of standard deviations = 1.000
Ratio of variances = 1.000

95% Confidence Intervals

Method	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Bonett	(0.251, 3.990)	(0.063, 15.922)
Levene	(*, *)	(*, *)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
Bonett	1	-	0.00	1.000
Levene	1	8	0.00	1.000

Test and CI for Two Variances: Cat02 Antes, Cat02 Después

* NOTE * The interval for the ratio using Levene's method cannot be displayed because one or both confidence limits cannot be calculated.

Two-Sample T-Test and CI: Cat02 Antes, Cat02 Después

Two-sample T for Cat02 Antes vs Cat02 Después

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cat02 Antes	5	518.0	12.4	5.6
Cat02 Después	5	438.0	12.4	5.6

Difference = μ (Cat02 Antes) - μ (Cat02 Después)
Estimate for difference: 80.00
95% CI for difference: (61.88, 98.12)
T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 10.18 P-Value = 0.000 DF = 8
Both use Pooled StDev = 12.4217

Figura 6.2 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 2
Fuente Minitab®.

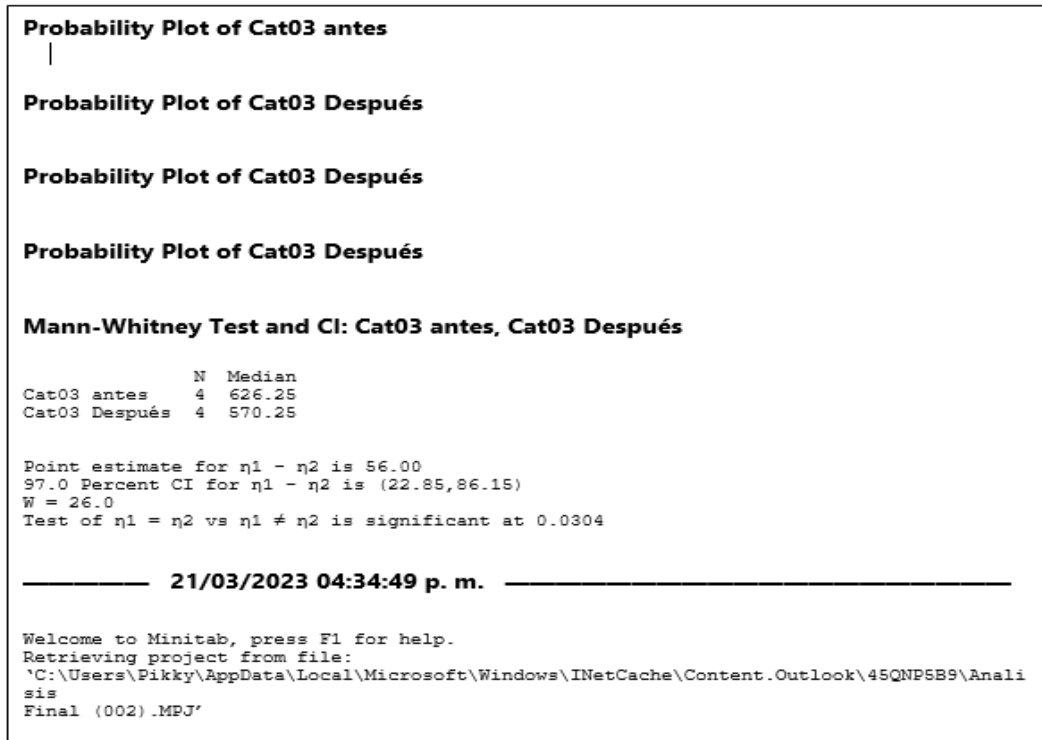


Figura 6.3 Gráfico de Pruebas Estadísticas Realizadas a Categoría 3
 Fuente Minitab®.

Una de las propuestas es eliminar la actividad del recibir actualización de documentos, actualizar carpeta. Actualmente esta actividad está entrelazada con el departamento de manufactura y el departamento de PLM, pero se podría dejar solamente en que manufactura actualice los documentos y los cargue al sistema directamente.

Otra de las mejoras es eliminar la actividad del recibir actualización de documentos, actualizar carpeta. Actualmente esta actividad está entrelazada con el departamento de manufactura y el departamento de PLM, pero se podría dejar solamente en que manufactura actualice los documentos, sean liberados por los departamentos encargados y sea el mismo ingeniero quien los cargue al sistema directamente.

BIBLIOGRAFÍA:

- Almohadi A., Dehghan, J., & Ruwanpura, J. (2011). The predictability of fasttrack projects. *Procedia Engineering*.
- Álvarez Medina, Ma. de Lourdes, (2002). Cambios en la industria automotriz frente a la globalización: el sector de autopartes en México *Contaduría y Administración*, núm. 206, julio, 2002, pp. 29-49 *Revista Contaduría y Administración*, No. 206, julio-septiembre 2002
- APQP-2: 2008. Manual.APQP. Segunda Edición.2008, Chrysler Corporation, Ford Motor Company y General Motors Corporation
- Automotive Industry Action Group (AIAG), APQP 4th Edition, USA, 2006
- Bleicher, K. (2014). *Das Konzept Integriertes Management*. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Bosch Macimi & Varas Samuel, (2001). Reemplazo de Equipos en un Sistema Productivo Complejo. *Revista Ingeniería de Sistemas*, Volumen XV, Numero 1. Rescado de: http://www.dii.uchile.cl/ris/articulos/art_reemplaz.pdf
- Combata Niño Harold, Morales Ortega Roberto, (2016). El Control Interno como Elemento Importante Dentro del Sistema de Gestión de la Innovación: Una Propuesta Desde la Cibernética. *Revista Espacios*. Vol. 37 (Nº 21) Año 2016. Pág. 15
- Dashchenko, A. (2006). *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories*. New York. Springer. doi:10826377
- EIMaraghy, H. (2005). Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. *International journal of flexible manufacturing systems*, 17(4), 261-276.
- Eraso Guerrero, Omar. (2008) *Procesos de Manufactura*, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, disponible https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/4998/332571_Modulo2011.pdf;jsessionid=0193B6DDB35223F57B70CDE3CEA66AB1.jvm1?sequence=1

- Espinal Carrion, Efrain, (2021). Manual Basico de Core Tools, Editor Independently Published, 2021, ISBN 9798469596417
- García López, E. (2013). BPMN. Estándar para modelar procesos de negocio. INNOTEC Gestión, Volumen 5 páginas 56-60.
- Guerrero Silverio Junior Kener (2021) Reingeniería de procesos en una empresa de venta de PTARD bajo la metodología BPMN. Tesis de Grado de la Universidad de Piura. Lima Perú. Rescatado el 24 marzo 2023 de: <https://hdl.handle.net/11042/4988>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2010). Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill.
- Hernández Vázquez, Eduardo Francisco. (2012), Gestión de Cambios de Ingeniería en una Planta Proveedora T1 de la Industria Automotriz. Tesis de Instituto Politécnico Nacional, Memoria de Experiencia Profesional disponible <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12158/1807%202012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huang, G., Yee, W., & Mak, K. (2001). Development of a web-based system for engineering change management. Robotics and compuring integrate manufacturing, 255-267.
- Ibbs, W. (1997). Quantitive Impacts of Project Change: Size Issues.
- INEGI, (2022), Gaceta económica | 31 de marzo de 2022 Estadística del Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación 2022, Datos al mes de diciembre Tema: <https://www.inegi.org.mx/temas/exportacionesef/> Programa: https://www.inegi.org.mx/programas/exporta_ef/ Banco de Información Económica: disponible; <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/bie.html> <https://www.gob.mx/shcp%7Cgacetaeconomica/articulos/chihuahua-la-principal-entidad-exportadora-del-pais#:~:text=Por%20actividad%20exportadora%2C%20la%20principal,y%20aparatos%20el%C3%A9ctricos%20con%205.7%25>.

- International Automotive Task Force. (2015). Norma del sistema de Gestión de Calidad Automotriz IATF 16949. Integración de las normas ISO-IATF (2015-2016). Ginebra: AIAG
- ISO 9001:2015, Sistemas de gestión de la calidad Online Browsing Platform (OBP) <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- JOURNAL DE L' AUTOMOBILE, <http://www.journalauto.com/index.asp>, 2002
- Juárez Correa Alba Karina (2022) Modelación del proceso administrativo del laboratorio de análisis de falla de una empresa de producto médico, para detectar áreas de oportunidad. Tesis de Grado de maestría en Ingeniería Administrativa. Tecnológico Nacional de México/IT de Ciudad Juárez.
- Karl, F., Reinhart, G., & Zaeh, M. (2012). Strategic planning of reconfigurations on manufacturing resources. 3, 608-613
- Kernschmidt, K., Behncke, F., Wickel, M., Chucholowski, N., Bayrak, G., Lindemann, U., & Vogel-Heuser, B. (2014). An integrated approach to analyze change-situations in the development of production system. CIRP, 148-153.
- Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Morikawi, T., Pritschow, G., Ulsoy, G., & Van Brussel, H. (1999). Reconfigurable Manufacturing Systems. 48(2), 527-540
- Mittal, K., & Jain, P. (2014). An overview of performance measures in reconfigurable manufacturing system. Procedia Engineering, 69, 1125-1129.
- Muller, R. (2011). *Cómo preparar mejores gerentes para una época incierta. La interrupción de la simetría en el desarrollo gerencial. Cuadernos de Administración.* 29-50.
- Navarro Cid, J. (2010). Gestión de organizaciones: Gestión del caos. Dirección y organización, (23).
- Rodríguez Méndez, Manuel, Carcel Carrasco, Francisco (2014), La transcendencia del cambio de formato de las máquinas de producción, 3c Tecnología, investigación y pensamiento crítico, Periodicidad trimestral, Edición n° 7 noviembre 2013 – febrero 2014, Editorial: Área de Innovación

- y Desarrollo, S.L. Empresa de transferencia del conocimiento al sector empresarial. Disponible <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2013/11/3C-Tecnolog%C3%ADa71.pdf>
- Rodríguez M. Velasco J., Flores E., Zuloaga M., Nava S. Velázquez A., (2020), Repositorio uach.edu.mx. pp 98-106. Recuperado de: Una propuesta metodológica para realizar cambios de ingeniería en la industria automotriz, <http://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive>.
- Sippla Fabian, Moriza Tim, Reinhart Gunter (2022) A process mining-based approach for stakeholder identification in manufacturing and engineering change management. 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Elsevier. Disponible en www.sciencedirect.com
- Tanarro Nemiña, F. (2003). *Evolución y práctica del informe de control interno*. Técnica contable, (658), 18
- Vázquez Ramos, Omar Gerardo. (2016), Metodología para la Determinación de Inventarios Máximos Dentro de una Cadena de Suministros del Sector Automotriz Basada en el uso de Kanban. Tesis para obtener título de Maestría en Tecnológico de Monterrey, disponible https://repositorio.tec.mx/ortec/bitstream/handle/11285/567472/DocsTec_4517.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Veloso Francisco y Kumar Rajiv (2002). "The automotive supply chain: global trends and Asian perspectives", ERD, working paper No. 3, Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2002, p. 3.
- Vidal Duarte Elizabeth (2016) Modelado y Diagnóstico Del Proceso de Ingeniería y Proyectos en una Empresa Minera: Una Experiencia BPMN-XP.14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability", 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.
- White, S. A. (2014). Introduction to BPMN. Recuperado el 17 de 05 de 2021, de https://www.omg.org/bpmn/Documents/Introduction_to_BPMN.pdf

- Wickel, M., Chucholowski, N., Behncke, F., & Lindemann, U. (2013). Comparison of seven company-specific engineering changes processes. 3rd. International Conf. on model and Mag. of Eng. Processes.
- Xuehong, D., Mitchell, M., & Tseng, M. (2006). Understanding customer satisfaction in product customization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31(3-4), 396-406.
- Zäh, M., Hagemann, F., & Teufelhart, S. (2009). Form-flexible tools for injection molding: approach for the economic application of injection molding form small lot sizes. German: German Academic society for Production Engineering (WGP).
- Zäh, M., Reinhart, G., Werner, J., & Aull, F. (2008). Beherrschung zyklischer Innovationen in der Produktion. *Obtenido de Werkstattstechnik online 98: www.werkstattstechnik.de*