

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

Tema: MÉTODO DE CADENA CRÍTICA EN LA GESTIÓN DE TIEMPOS DE ELABORACIÓN DE CARROCERÍAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de
Magíster en Producción y Operaciones Industriales

Modalidad de Titulación Proyecto de Desarrollo

Autor: Ingeniero Alessandro Ariel Martínez Cordovilla

Directora: Ingeniera Jéssica Paola López Arboleda Magíster

Ambato – Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster, e integrado por los señores: Ingeniera Daysi Margarita Ortiz Guerrero Magíster e Ingeniero Israel Ernesto Naranjo Chiriboga Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Método de Cadena Crítica en la Gestión de Tiempos de Eaboración de Carrocerías” elaborado y presentado por el señor, Ingeniero Alessandro Ariel Martínez Cordovilla, para optar por el Grado Académico de Magister en Producción y Operaciones Industriales; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Daysi Margarita Ortiz Guerrero, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Israel Ernesto Naranjo Chiriboga, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La Responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: Método de Cadena Crítica en la Gestión de Tiempos de Elaboración de Carrocerías, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Alessandro Ariel Martínez Cordovilla bajo la Dirección de la Ingeniera Jéssica Paola López Arboleda Magíster., Directora del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Alessandro Ariel Martínez Cordovilla

AUTOR

Ing. Jéssica Paola López Arboleda, Mg.

DIRECTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Alessandro Ariel Martínez Cordovilla

C.C. 1804374336

ÍNDICE GENERAL

Contenido

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivo Específicos.....	2
CAPÍTULO II	3
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	3
2.1 Estado del Arte.....	3
2.1.1 Gestión de Proyectos	3
Proyectos.....	3
Modelos para la Gestión de Proyectos.....	4
Investigaciones Relacionadas	5

2.1.2	Teoría de Restricciones.....	9
	Fundamentos TOC	9
	Amortiguadores.....	10
	Investigaciones Relacionadas	11
2.1.3	Cadena Crítica	13
	Fundamentos CCPM.....	13
	Cadena Crítica y Ruta Crítica	15
	Investigaciones Relacionadas	15
CAPÍTULO III.....		18
MARCO METODOLÓGICO		18
3.1	Ubicación	18
3.2	Equipos y Materiales.....	18
3.3	Tipo de Investigación.....	18
3.3.1	Cuantitativa.....	18
3.3.2	Experimental.....	19
3.3.3	Correlacional.....	19
3.4	Población y muestra	19
3.5	Recolección de Información	19
3.6	Procesamiento de la información y análisis estadístico	20
3.6.1	Plan de Procesamiento de la Información	20
3.6.2	Análisis e Interpretación de los Resultados	20
3.7	Variables respuesta.....	21
3.7.1	Variable Independiente: Método de la cadena crítica para gestión de tiempos.....	21
3.7.2	Variable Dependiente: Nivel de cumplimiento de fechas de entrega.....	22
CAPÍTULO IV.....		23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		23

4.1	Descripción de la empresa	23
4.1.1	Productos y Servicios de Carrocerías Jácome	23
4.2	Sistema Productivo	25
4.2.1	Descripción de los procesos.....	25
4.2.2	Análisis SIPOC	27
4.2.3	Modalidad de trabajo	28
4.2.4	Trabajo por proyectos	32
4.2.5	Diagrama de proceso	34
4.3	Flujogramas de actividades.....	39
4.3.1	Proceso de venta y contratos.....	39
4.3.2	Proceso de adquisición de materiales	41
4.3.3	Proceso de diseño	44
4.4	Planificación de actividades.....	46
4.4.1	Tiempos de proceso	46
4.4.2	Programación de trabajos	48
4.4.3	Indicadores de control de actividades.....	49
4.5	Análisis de actividades.....	53
4.5.1	Flujo de proyecto propuesto	54
4.5.2	Integración proceso y proyecto.....	56
4.5.3	Tipos de actividad.....	57
4.5.4	Diagrama de nodos y ruta crítica	58
4.6	Gestión de proyectos con TOC.....	62
4.6.1	Definir el proyecto.....	62
4.6.2	Cadena crítica	64
4.6.3	Determinación de amortiguadores.....	68
4.6.4	Plan de proyecto	73
4.7	Niveles de cumplimiento	73

4.7.1	Integración Exepron.....	73
4.7.2	Administración dinámica de amortiguadores	76
4.7.3	Comparación descriptiva	78
4.7.4	Comparación por simulación.....	79
CAPÍTULO V		81
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA		81
5.1	Conclusiones.....	81
5.2	Recomendaciones	82
5.3	BIBLIOGRAFÍA	83
5.4	ANEXOS	88
Anexo 01: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS ESTRATÉGICOS.....		88
Anexo 02: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS CLAVE.....		89
Anexo 03: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS DE APOYO.		92
Anexo 04: REQUISITOS CARROCERÍA.....		93
Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL.		94
Anexo 06: CÁLCULO HACIA ADELANTE – TIEMPO DE TERMINACIÓN MÁS TEMPRANO.....		100
Anexo 07: CÁLCULO HACIA ATRÁS – TIEMPO DE INICIO MÁS TARDÍO.		101
Anexo 08: CONCEPTOS TOC PARA PROYECTOS.....		102
Anexo 09: PLAN DE PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA		104
Anexo 10: CARGUE DATOS EN EXEPRON		109
Anexo 11: DIAGRAMA PERT PARA ELABORACIÓN DE CARROCERÍAS, DE EXEPRON.		110
Anexo 12: SIMULACIÓN EN FLEXSIM.		111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: UNIDAD DE OBSERVACIÓN.....	19
Tabla 3-2: PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	20
Tabla 3-3: OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE.....	21
Tabla 3-4: OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE DEPENDIENTE.....	22
Tabla 4-1: RECURSO HUMANO POR PROCESO.	30
Tabla 4-2: CARACTERÍSTICAS MODELOS DE GESTIÓN.....	30
Tabla 4-3: TIEMPOS DE PROCESO CARROCERÍAS JÁCOME.....	47
Tabla 4-4: ENTRADAS PLAN DE ACTIVIDADES.	48
Tabla 4-5: PLAN DE ACTIVIDADES PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL..	49
Tabla 4-6: INDICADORES DE PROYECTO – GESTION ACTUAL.	50
Tabla 4-7: CONTROL FECHAS REALES – GESTION ACTUAL.....	52
Tabla 4-8: CÁLCULO INDICADORES – GESTION ACTUAL.....	53
Tabla 4-9: INTEGRACIÓN DE CARACTERÍSTICAS.....	56
Tabla 4-10: CLASIFICACION ACTIVIDADES.....	57
Tabla 4-11: TABLA DE PRECEDENTES.....	58
Tabla 4-12: ACTIVIDADES RUTA CRÍTICA.	60
Tabla 4-13: CONFLICTOS DE RECURSOS.	64
Tabla 4-14: ELIMINAR CONFLICTOS Y MULTITAREA.....	65
Tabla 4-15: PRECEDENTES CON CADENA CRÍTICA.	65
Tabla 4-16: REDUCCIÓN DE ESTIMACIONES AL 50%.	68
Tabla 4-17: TIEMPOS CADENAS DE ALIMENTACIÓN AL 50%.	69
Tabla 4-18: AMORTIGUADOR DE ALIMENTACIÓN	71
Tabla 4-19: ACTIVIDADES PARA PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA.....	71
Tabla 4-20: ADMINISTRACIÓN DINÁMICA DE PROYECTO	77
Tabla 4-21: TIEMPO DE ENTREGA DE PROYECTO SIMULADO.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Mapa de Procesos Carrocerías Jácome.	26
Figura 4-2: Subprocesos Fabricación de Carrocerías.....	27
Figura 4-3: Relación entre modelos con diagrama de venn.	31
Figura 4-4: Flujograma de proyecto de construcción de una carrocería.....	33
Figura 4-5: Diagrama de proceso general para construcción de una carrocería.	35
Figura 4-6: Diagrama de proceso detallado para construcción de una carrocería.	36
Figura 4-7: Flujograma de actividades en VENTAS.	40
Figura 4-8: Flujograma de actividades en COMPRAS GENERALES.	42
Figura 4-9: Flujograma de actividades en COMPRAS A TERCERIZADOS.	43
Figura 4-10: Flujograma de actividades en DISEÑO.	45
Figura 4-11: Cumplimiento de proyecto para carrocerías vendidas en 2019.....	51
Figura 4-12: Seguimiento proyecto bus interprovincial.....	53
Figura 4-13: Flujo de proyecto propuesto.....	55
Figura 4-14: Forma ubicación tiempos en ruta crítica.	59
Figura 4-15: Ruta Crítica.	61
Figura 4-16: Estructura de desglose de trabajo (EDT).....	63
Figura 4-17: De ruta crítica a cadena crítica.	66
Figura 4-18: Análisis cadena crítica para elaboración de carrocerías.....	67
Figura 4-19: Amortiguador de proyecto.	70
Figura 4-20: Cadena Crítica para Carrocerías Jácome.....	72
Figura 4-21: Añadir tareas, de Exepron.	74
Figura 4-22: Diagrama Gantt para Elaboración de Carrocerías, de Exepron.	75
Figura 4-23: Administración visual de amortiguador, de Exepron.....	77
Figura 4-24: Comparación tiempo de entrega.....	78
Figura 4-25: Comparación nivel de cumplimiento real.	79
Figura 4-26: Comparación nivel de cumplimiento, tiempos simulados.	80

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud principalmente a Dios por la vida, a mis padres, hermanos y mi hermosa familia, mi profundo agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato por el conocimiento brindado.

DEDICATORIA

Esta tesis es dedicada a mis hijos, esposa, y padres, gracias por inculcar en mi la fuerza y la valentía de no temer a las adversidades porque Dios siempre esta a mi lado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

TEMA:

Método de cadena crítica en la gestión de tiempos de elaboración de carrocerías.

AUTOR: Ing. Alessandro Ariel Martínez Cordovilla

DIRECTOR: Ing. Jessica Paola López Arboleda, Mg.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Diseño, Materiales y Producción

FECHA: 04 de febrero de 2021

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación aplica el método de cadena crítica en la industria carrocería para la elaboración de buses interprovinciales. El ambiente de trabajo para este tipo de producto refleja tiempos de entrega en días y el recurso principal es la mano de obra calificada. El análisis inicial compara las características del modelo de negocio de carrocerías con el modelo de trabajo bajo pedido en el que se observa una estrecha relación entre ambos, principalmente porque la producción de buses arranca solamente con un pedido en firme y no existe inventario de producto terminado. La investigación plantea que la gestión de tiempos de elaboración de carrocerías se realice a través de cadena crítica como herramienta de gestión de proyectos. Se identifica un ambiente mixto entre manufactura y proyectos por lo que se clasifica las tareas como operaciones estándar de producción y tareas únicas por pedido de cliente, se obtiene los tiempos de ejecución y se calcula la ruta crítica del proyecto que resulta en 73 días. Posteriormente, se transforma de ruta a cadena crítica al considerar los conflictos de recursos y holguras, se aplica la reducción de tiempo de las tareas de proyecto al 50% y se agrega como un amortiguador de proyecto con lo que se obtiene un tiempo de entrega de 64 días. Se documenta la estructura de desglose de trabajo, cronograma detallado de actividades, tareas de cadena crítica y se propone el uso de Exepron, software gestor de proyectos para la administración dinámica de amortiguadores. La investigación evalúa un proyecto real en el que se observa que el nivel de cumplimiento de fechas de entrega pasa de 103% promedio en la gestión actual a 97% con cadena crítica. Además, los resultados simulados muestran un cumplimiento promedio de 96% con un tiempo de entrega promedio de 61,44 días.

Descriptor: amortiguador, cadena crítica, carrocerías, gestión, manufactura, proyectos, teoría de restricciones.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

THEME:

Critical chain method in the management of body construction times.

AUTHOR: Ing. Alessandro Ariel Martínez Cordovilla

DIRECTED BY: Ing. Jessica Paola López Arboleda, Mg.

LINE OF RESEARCH:

- Design, Materials and Production.

DATE: February 4th, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

This research project applies the critical chain method in the bodywork industry for the production of interprovincial buses. The work environment for this type of product reflects delivery times in days and the main resource is skilled labor. The initial analysis compares the characteristics of the bodywork business model with the make to order model in which a close relationship is observed between both, mainly because bus production only starts with an order and there is no finished product stock. The research proposes that the management of body construction times is carried out through the critical chain as a project management tool. A mixed environment between manufacturing and projects is identified, so tasks are classified as standard production operations and unique tasks per customer order, execution times are obtained and the critical path of the project is calculated, which results in 73 days. Subsequently, it is transformed from path to critical chain by considering resource conflicts and slack, the time reduction of project tasks is applied to 50% and is added as a project buffer, thus obtaining a delivery time of 64 days. The work breakdown structure, detailed schedule of activities, critical chain tasks are documented and the use of Exepron, project management software for dynamic buffer management, is proposed. The research evaluates a real project in which it is observed that the level of compliance with delivery dates goes from an average 103% in current management to 97% with a critical chain. Additionally, the simulated results show an average compliance of 96% with an average delivery time of 61,44 days.

Keywords: bodies car, buffer, critical chain, management, manufacturing, projects, theory of constraints.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La elaboración de carrocerías se considera como un proyecto debido al tiempo de producción y la complejidad en la gestión de actividades por la cantidad de procesos y recursos que intervienen. En este contexto, la gestión de tiempos requiere de métodos de control y seguimiento más específicos (Carneiro et al., 2019; Frijns et al., 2017; Gómez & Jiménez, 2014; Morozov et al., 2017). La teoría de restricciones (TOC) se basa en la premisa de que el máximo logro en un sistema orientado a metas está limitado por al menos una restricción (Alvarez et al., 2017). La TOC cuenta con una solución para la gestión de proyectos conocida como la cadena crítica (CCPM por sus siglas en inglés), el cual persigue el mismo objetivo de optimizar la producción del sistema, pero se traduce en favorecer una mayor velocidad de ejecución de las actividades del proyecto (Cuartas Montoya & Lopera Zapata, 2009; Huang & Yang, 2009). La cadena crítica es aquella que impone el plazo mínimo en que un proyecto puede ser realizado, su aplicación propone efectuar un cronograma donde se cuide la fecha de entrega mediante la adición de amortiguadores los cuales se consideran como el tiempo de seguridad agregado a las tareas críticas con objeto de tener en cuenta posibles desviaciones (temporales) de las actividades (Ashtiani et al., 2007; Reddy & Telukdarie, 2018). El presente proyecto pretende aplicar los conceptos y herramientas de cadena crítica para la gestión de tiempos de entrega hacia clientes internos y externos para que el nivel de cumplimiento sea el máximo alcanzable y la empresa cuente como valor agregado tiempos de entrega menores y seguridad en el cumplimiento de plazos (Hagemann, 2001).

El contenido de la presente investigación se define a continuación: En el Capítulo I se detalla la justificación y objetivos. En el Capítulo II se el estado del arte sustento de la investigación. En el Capítulo III se encuentra la metodología. En el Capítulo IV se muestra el análisis de la gestión actual de actividades, se propone CCPM como metodología de gestión de proyectos y se determina los resultados. En el Capítulo V se muestra las conclusiones y recomendaciones resultado de la investigación.

1.2 Justificación

La propuesta de aplicación del método de cadena crítica en la gestión de tiempos de elaboración de carrocerías permitirá que las fechas de entrega hacia clientes internos y externos tengan un mejor nivel de cumplimiento. Actualmente, la elaboración de carrocerías no considera los imprevistos que se presentan durante la ejecución de actividades y en los contratos que se firman se ubican fechas de entrega que no se cumplen, esto ocasiona descontentos del cliente y en otros casos la empresa debe recurrir a horas adicionales o contratos de personal emergente para cumplir con la fecha de entrega. El trabajo de desarrollo propuesto es necesario porque considera la aplicación del método de cadena crítica de la teoría de restricciones para la gestión de tiempos de elaboración de una carrocería que se debe analizar desde el punto de vista de un proyecto por la cantidad de actividades y recursos que intervienen. El método de la cadena crítica permite considerar como medida de desempeño, la duración de un proyecto y mejora el tiempo de secuencia de las tareas a la vez que minimiza el trabajo en proceso. El trabajo es original porque integra conceptos de gestión de proyectos en la gestión de tiempos y fechas de entrega de elaboración de una carrocería, toma en cuenta los imprevistos que existen y mediante amortiguadores de tiempo hace el seguimiento de producción con el porcentaje de penetración en el amortiguador, esto permite a la empresa Carrocerías Jácome contar con un sistema que asegure y mejore la confiabilidad del cliente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Aplicar el método de cadena crítica en la gestión de tiempos de elaboración de carrocerías.

1.3.2 Objetivo Específicos

- Analizar la gestión actual de las actividades realizadas durante la elaboración de carrocerías en Carrocerías Jácome.
- Establecer el método de cadena crítica como herramienta en la gestión de proyectos de Carrocerías Jácome.
- Comparar el nivel de cumplimiento del método de cadena crítica con la gestión tradicional.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Estado del Arte

2.1.1 Gestión de Proyectos

Proyectos

Un proyecto es el producto resultante de algún tipo especial de fabricación, construcción, servicio, documentación, etc., o la mejora de cualquiera de ellos, o cualquier otra actividad no repetitiva que deba estar sujeta a una planificación y programación cuidadosa. Una de las características que hace tan singular a los proyectos es su no repetitividad, lo que hace que normalmente no se considere realmente como un tipo de producción, sino simplemente un proyecto y no se rija por los principios de implantación y gestión de la producción, sino por sus propios sistemas (Cuatrecasas Arbós, 2012).

El primer paso del proceso de planificación es definir el proyecto con precisión, en particular se tiene que definir el costo, la calidad y el tiempo, estos tres círculos están presentes en todos los proyectos, en cualquier proyecto se tendrá que entregar productos finales con unos criterios de calidad probablemente en un tiempo limitado y sin duda con un presupuesto restringido (Toala et al., 2019).

En sentido amplio, un proyecto es un conjunto o una secuencia de actividades que desarrolla durante un tiempo un equipo de personas para obtener un resultado. Para entenderlo mejor: un proyecto es un proceso; es decir, un conjunto de actividades interrelacionadas en las que se transforman un conjunto de recursos (inputs) en un conjunto de resultados (outputs) que tienen un sentido para alguien (un cliente, interno o externo) (Ramón Rodríguez, 2011).

Un proyecto tiene un objetivo. Normalmente, el resultado u objetivo es también un proceso, o la transformación de uno que ya existe, sea este el cálculo de nómina, los resultados de las olimpiadas o la producción de una nueva lavadora. Tiene una duración, un inicio y un final. La temporalidad es quizá el elemento clave y diferencial

de un proyecto frente a otra clase de proceso (Project Management Institute, 2017; Ramón Rodríguez, 2011).

Modelos para la Gestión de Proyectos

Existen metodologías comunes para la gestión de proyectos, se tiene a la que se denomina gestión de proyectos tradicional o modelo en cascada.

Este modelo funciona bien cuando la meta y la solución del proyecto están bien definidas y el alcance y los resultados son claros, como se sabe bien que hay que hacer, se puede pasar por cada proceso una sola vez, cuanto más se sepa sobre el proyecto, mejor funcionará el modelo en cascada (Toala et al., 2019).

En la gestión de proyectos iterativa y ágil se utilizan iteraciones para ofrecer soluciones parciales, pero de calidad de producción en intervalos regulares, con este modelo el cliente obtiene antes un valor del proyecto, además el cliente puede dar feedback para cada parte entregada y eso mejora la solución definitiva (Toala et al., 2019).

Existen dos formas gráficas de representar proyectos ampliamente divulgadas y utilizadas: las barras de Gantt y las redes de nodos PERT/CMP. La primera es quizás la más popular por su fácil y sencillo manejo. Se grafica mediante dos columnas, a la izquierda los nombres de las tareas y a la derecha los períodos de tiempo que determinan en forma aproximada, y por medio de una barra, las fechas de inicio, de terminación y la duración misma de las tareas; el ancho de la barra va de acuerdo con la duración de la respectiva tarea (Toro López, 2014).

Otra técnica, quizás menos popular pero no menos importante, es la de redes de nodos, llamada PERT/CPM (Program Evaluation & Review Technics y Critical Path Method), la cual suele presentarse como una sola, pero en realidad es la combinación de dos propuestas lanzadas a principio de la década de los años cincuenta. En esta técnica las tareas se representan por medio de flechas, y los puntos o nodos de la red en donde terminan unas actividades y pueden iniciarse otras se representan por medio de círculos (Toro López, 2014).

Existen dos alternativas cuando se establece la programación general de un proyecto: la primera consiste en establecer una fecha de inicio del proyecto y, a partir de esta y de las relaciones de precedencia de las tareas, proyectar la estimada fecha de terminación; la segunda consiste en fijar una fecha de terminación deseada o muchas veces impuesta del proyecto y, en forma progresiva, de atrás hacia adelante, llegar a la fecha en la que el proyecto debería empezar (Toro López, 2014).

Investigaciones Relacionadas

En cuanto a trabajos que analizan la gestión de proyectos en ambientes de manufactura, destacan Carneiro et al., (2019) cuya investigación tiene como objetivo encontrar una metodología que pudiera adaptarse a la gestión de un departamento de una empresa pública, para la mejora continua de su desempeño. Parten de las metodologías ágiles de gestión de proyectos que se caracterizan por ser sencillas, flexibles y dinámicas, responder con facilidad a los cambios y promover la integración de equipos.

En este contexto, la metodología Scrum es una de las más populares porque es asequible y no requiere documentación extensa. Este trabajo muestra cómo fue posible utilizar Scrum en la gestión de rutinas, realizando las adaptaciones necesarias, y presentando los indicadores de desempeño para evaluar las mejoras logradas con el uso de la herramienta. Como resultado, se observa una mejor planificación de actividades, priorización de tareas, monitoreo constante de las actividades, mejor flujo de trabajo rutinario, mejor calidad de entrega y mayor alineación entre los miembros del equipo (Carneiro et al., 2019).

Retnowardhani & Suroso, (2019) presentan una revisión de casos de estudio en donde se aplica sistemas de información para la gestión de proyectos. En el paradigma de proyectos tradicional, la mayoría de los proyectos se gestionan utilizando una gran cantidad de documentos manuales que requieren relativamente mucho tiempo, mientras que el equipo de campo se enfrenta a un trabajo técnico por lo que no es posible hacer la documentación manual. La gestión de proyectos juega un papel desde el inicio, la planificación, la supervisión y el control y cierre en el ciclo de vida de un proyecto.

Los sistemas de información de gestión de proyectos (PMIS) son una herramienta de gestión de proyectos que puede ayudar al equipo del proyecto a planificar, programar, supervisar e informar automáticamente durante todo el proceso de gestión de proyectos. La investigación encuentra que los PMIS pueden ayudar a los gerentes de proyecto a identificar tareas importantes, limitaciones de recursos y hacer informes oportunos, precisos y tomar decisiones correctas sobre el proyecto. Ayudan en la planificación, programación, seguimiento y control del proyecto para que su desempeño no se limite al desempeño individual, sino que también incluya el desempeño del proyecto. En general, los resultados muestran que hay un aumento en la efectividad de la gestión de proyectos (Retnowardhani & Suroso, 2019).

Uriel & Amnon, (2018) evalúan la relación entre gestión del conocimiento y gestión de proyectos. Su hipótesis plantea que existe una fuerte conexión positiva entre ambos conceptos y que altos índices de gestión del conocimiento resultan en proyectos más exitosos. Para ello, se distribuye un cuestionario entre jefes de proyecto, profesionales de TI y otros profesionales que participan en proyectos tecnológicos u organizaciones tecnológicas. El cuestionario consta de cuatro partes principales: la clasificación de la organización, la clasificación del proyecto, la sección sobre gestión del conocimiento organizacional y la última parte, que examina el tema del éxito del proyecto. El tamaño de la muestra consiste en 50 encuestados. El análisis estadístico de los datos recopilados muestra que existe una relación positiva y significativa entre los índices de gestión del conocimiento y los índices de éxito del proyecto.

Frijns et al., (2017) identifican en su investigación trece factores clave de éxito para la ejecución de proyectos: organización, planificación, compromiso, gestión del riesgo, objetivos, programación, comunicación, equipo, alta dirección, personal de soporte de la alta dirección, monitoreo, presupuesto y modelo de negocio. Se inicia un estudio para explorar los factores de interés para ejecutar programas/proyectos, incluida la implementación del resultado/producto. La medida en que se logren los objetivos del programa/proyecto depende de lo que se quiera lograr (contenido) y de cómo se pretenda hacerlo (proceso). Estos se conocen generalmente como los denominados factores "duros".

Frijns et al., (2017) mencionan que varios estudios han demostrado que los factores denominados "suaves" también determinan en gran medida la viabilidad de lograr los objetivos del programa/proyecto. Esto se relaciona con el grado de cooperación (relaciones) y la magnitud del cambio, posiblemente busca una nueva actitud y comportamiento (cultura). Estas cuatro áreas juntas forman las llamadas 'cuatro hojas del trébol de la suerte' dentro de gestión de proyectos. La adecuada realización de programas y proyectos y la implementación de los resultados no es una tarea fácil y requiere profesionalismo y atención de todos los involucrados, desde la alta dirección hasta el personal del proyecto. Para aumentar las posibilidades de éxito, es importante que varios aspectos se controlen adecuadamente. Las entrevistas con los altos directivos muestran que creen que la tasa de éxito de los programas y proyectos puede aumentar si se presta una atención más consciente y explícita a los aspectos relacionales y culturales. Esto crea un mejor equilibrio entre todos los aspectos de 'el trébol de la suerte'.

Babayev, (2017) menciona que el principal motivo de las situaciones problemáticas en la gestión de programas de desarrollo son los problemas de integración de los proyectos y la gestión de las transiciones de un proyecto a otro o de una fase a otra. En su investigación considera los problemas de integración de los proyectos en la gestión de programas de desarrollo de las organizaciones. Actualmente, no existen herramientas efectivas para administrar proyectos y programas en un entorno dinámicamente variable para resolver problemas. Se propone un nuevo enfoque para la gestión de programas de desarrollo en el contexto de la tríada: estrategia, proyectos y personas.

Babayev, (2017) introduce un nuevo término como "proyectos inmanentes", que son el motivo principal del tema de la integración en la gestión de programas de desarrollo y los principios de gestión de estos proyectos. Los proyectos inmanentes son aquellos que aseguran la integración de dos proyectos en el programa de desarrollo, en los que la comunicación interna es contraria a la externa. Tiene un deseo inherente de mejorar constantemente el nivel de su autonomía funcional.

Bierwolf et al., (2018) proporcionan una breve descripción de los desarrollos actuales de la profesión de Gestor de Proyectos. Además, identifican investigaciones

relacionadas recientes, actuales y en curso que abordan preguntas similares sobre las posibilidades de éxito y la aplicación de varios métodos de gestión de proyectos. Se propone un nuevo enfoque para aprender utilizando la “Investigación a través de la Gestión de Proyectos” (RtPM). Comprender el impacto que puede tener la gestión de proyectos en la forma en que se desarrollan los productos, servicios, procesos y sistemas, y en la forma en que se lleva a cabo. Los autores proponen que la profesión de gestor de proyectos debe desarrollarse de manera diferente a como se ha realizado hasta la fecha y se refieren a ella como “Hacia la Gestión de Proyectos 2030”, haciendo que la profesión se desarrolle de una manera mucho más continua. El artículo finaliza sugiriendo cómo organizar esta investigación en curso sobre el aprendizaje y la adopción por parte de la gestión de proyectos en la práctica que abarca el aprendizaje permanente.

Toljaga-Nikolic et al., (2017) analizan en su investigación diferentes enfoques de gestión de proyectos, enfatizando la diferencia entre ellos y su sensibilidad a las incertidumbres y características de los proyectos. El enfoque tradicional es adecuado para gestionar proyectos bien estructurados en el entorno del proyecto con requisitos claros y alcance del proyecto. Pero las partes interesadas no siempre pueden especificar todos los requisitos al comienzo del proyecto y se pueden esperar cambios a lo largo del ciclo de vida del proyecto. La gestión ágil de proyectos es la más apropiada para gestionar proyectos con cambios frecuentes esperados a lo largo del ciclo de vida del proyecto y relacionados con esa alta incertidumbre.

Para la gestión de proyectos con objetivos y soluciones no claramente definidos, que son proyectos de alto riesgo y de alto cambio, con altas tasas de fracaso, la opción posible podría ser la gestión de proyectos extremos. En la situación en la que un proyecto tiene una solución clara pero no objetivos claramente definidos, la gestión de proyectos de emergencia podría ser el mejor enfoque de gestión de proyectos. Los requisitos de la gestión de proyectos podrían desarrollarse durante el ciclo de vida del proyecto, dependiendo de las diferentes características de las fases del ciclo de vida del proyecto. En el documento también se analizan los factores que afectan el éxito del proyecto, así como la importancia de considerar la complejidad, la incertidumbre y el entorno del proyecto (Toljaga-Nikolic et al., 2017).

2.1.2 Teoría de Restricciones

Fundamentos TOC

El concepto fundamental en que descansa la teoría de restricciones es que toda planificación hacia la generación de un producto o servicio consiste, básicamente, de una serie de procesos vinculados. Cada proceso tiene una capacidad específica para generar una producción determinada por la operación, y en casi todos los casos existe un proceso que limita o restringe el rendimiento de la operación completa (Chapman, 2006).

Una restricción es, en términos generales, cualquier factor que limita a la compañía para alcanzar su objetivo. En el caso de casi todas las empresas, ese objetivo es hacer dinero, lo que se manifiesta en un incremento del rendimiento, lo cual se logra gracias a las ventas, no sólo a la producción (Chapman, 2006).

De acuerdo con la teoría de sistemas, desarrollada por el biólogo Ludwig von Bertalanffy, las empresas pueden describirse a partir de insumos que a través de un proceso de transformación se convierten en productos. En un proceso teórico ideal, que pudiera asemejarse a una tubería con un diámetro uniforme, la entrada de insumos se convertiría en una cantidad equivalente de productos con un valor agregado que, en esencia, es lo que satisface las necesidades de los clientes (Rodríguez Combeller, 1993).

Sin embargo, en la realidad las organizaciones no son como tuberías con diámetros uniformes, sino que se parecen más a tuberías con diámetros irregulares en las cuales hay cuellos de botella o restricciones. Estas restricciones son muy importantes ya que determinan el flujo de las operaciones de la empresa y por lo tanto la productividad total de la misma (Rodríguez Combeller, 1993).

En efecto, todo proceso de transformación tiene, por definición, cuando menos una restricción importante, el diámetro menor en el ejemplo de la tubería, que se convierte en un elemento rector para la dirección de la empresa. La comprensión del análisis de las restricciones y de sus efectos en la productividad es dramática, pues implica una transformación progresiva de las creencias y políticas convencionales hacia la

formación de una nueva perspectiva para la administración de las instituciones (Rodríguez Combeller, 1993).

Amortiguadores

El concepto de amortiguadores o buffer en la gestión de proyectos se usa de forma diferente a la gestión de producción (concepto que no ingresa en el alcance de esta investigación).

Al calcular el amortiguador, se puede utilizar una cifra de hasta el cincuenta por ciento del tiempo estimado para el amortiguador. El amortiguador puede variar de un proyecto a otro y de una tarea a otra, se puede calcular utilizando cualquier número, según la experiencia, la confianza del equipo, la capacidad del equipo, la capacidad de gestión, la cantidad de riesgo involucrado y la cantidad de gestión de riesgos dispuesta a tomar (Scott, 2011).

Los amortiguadores son tiempo adicional que se agrega al proyecto; en la gestión de proyectos tradicional, este tiempo se agrega en la duración de la tarea individual, bajo CCPM se agrega al final del proyecto. También hay amortiguadores de alimentación, estos se colocan a lo largo del proyecto donde las unidades no críticas de la cadena se introducen en la cadena crítica. El tercer tipo de amortiguador es el amortiguador de recursos, ya que su nombre indica que es un amortiguador que identifica recursos adicionales si es necesario. Estos amortiguadores son la clave para cronogramas más predecibles (Scott, 2011).

Un cálculo aproximado para determinar el amortiguador es reducir cada tarea en un cincuenta por ciento y agregar ese tiempo al amortiguador. Muchas personas luchan con este concepto, ya que generalmente predicen la duración de la tarea en función de la experiencia, aquí es donde se debe realizar la capacitación para alentar y mostrar a las personas por qué es una buena idea. Reducir el tiempo a la mitad solo puede funcionar si la persona puede trabajar en la tarea a tiempo completo, sin multitareas. El objetivo es terminar la tarea temprano y no hacer que la tarea ocupe el tiempo (Scott, 2011).

Investigaciones Relacionadas

Lin et al., (2018) proponen la integración de los conceptos de TOC con la planificación de recursos empresariales (ERP). Mediante este enfoque se proporciona información oportuna y relevante sobre el progreso de los recursos y la producción, que es un tema crítico para la planificación de la producción. En esta investigación se revisa las características de fabricación y se integra el método tambor-amortiguador-cuerda (DBR) para sincronizar la producción con la restricción para lograr los siguientes objetivos: primero, identificar fácilmente el cuello de botella y asignar recursos. Segundo, en la gestión de procesos, la empresa puede establecer el ritmo de otras actividades operativas de acuerdo con el tambor del cuello de botella con la ayuda de la alimentación continua de información. En tercer lugar, el método propuesto es capaz de mejorar el rendimiento de la producción en términos de tiempo de ciclo y utilización de la capacidad. Se presenta un caso práctico para demostrar cómo TOC y ERP pueden integrarse e implementarse eficazmente para la planificación de la producción.

Bai et al., (2019) proponen un método de mejora de la eficiencia de planta (OEE) basado en TOC, se establecen dos modelos: el modelo de identificación de cuellos de botella y el modelo de amortiguadores. En el primer caso, se construye un modelo de identificación de cuellos de botella de atributos múltiples basado en la Técnica de Preferencia de Órdenes por Similitud a una Solución Ideal (TOPSIS) y el Método de Entropía. Además, se propone un modelo de amortiguadores o buffer de tiempo basado en la teoría DBR. Este método de mejora de OEE puede aumentar significativamente la OEE de los equipos del cuello de botella. Además, debido a la optimización de los cuellos de botella, se mejora la eficiencia de producción del sistema.

Alvarez et al., (2017) presentan un modelo de implementación de Lean Manufacturing a partir de un sistema de producción definido con TOC. El artículo describe un caso de estudio en una importante empresa de calzado ecuatoriana con el objetivo de reducir los tiempos de entrega y los inventarios generados por los trabajos en proceso. El mapeo de la cadena de valor se utiliza para identificar acciones inútiles como oportunidades de mejora y con el modelo de implementación se aplican las herramientas Lean y TOC. Se realiza el mapeo de la cadena de valor del estado actual y posteriormente se propone el mapa del estado futuro a partir de la relación entre el

análisis de restricciones y el inventario de la TOC y Pull producción y takt time de Lean. Los resultados permiten demostrar la aplicación exitosa del modelo en la industria del calzado con una reducción de tiempo no agregado e inventario de 40% y 78% respectivamente.

Alves Ribeiro et al., (2018) presentan su trabajo resultado de un mapeo sistemático sobre la aplicación de la Teoría de Restricciones en el proceso de desarrollo de software. El objetivo de la investigación es identificar en la literatura estudios primarios relevantes publicados sobre la TOC relacionados con el proceso de producción de software y su entorno de ejecución. El principio de búsqueda se basa en trabajos que utilizaron los conceptos de la TOC. En esta investigación, también se busca explorar trabajos que aplican TOC en otros entornos productivos en un intento de visualizar posibles aplicaciones que puedan adaptarse al proceso de desarrollo de software. En el mapeo realizado también se observaron y catalogaron trabajos con enfoques en optimización de procesos, mejora de procesos y programación de procesos. Los vacíos encontrados mostraron algunas oportunidades de investigación teóricas y prácticas sobre la aplicación de TOC en el proceso software, mejora del proceso software, identificación y tratamiento de cuellos de botella en el proceso software y optimización del proceso software, utilizando heurísticas, metaheurísticas, modelos matemáticos y programación Job Shop.

Reddy & Telukdarie, (2018) investigan tecnologías y conceptos en el modelo emergente de industria 4.0 que agregan valor a las capacidades de toma de decisiones organizacionales. Se desarrolla un modelo de simulación basado en agentes de múltiples métodos dentro de los límites de un sistema de TOC para evaluar la efectividad del Modo de Operación actual (MOO) para la priorización del Trabajo en Proceso (WIP). La investigación se lleva a cabo utilizando un complemento WIP definido y una asignación de reserva de recursos. Los resultados muestran que es posible optimizar el flujo a través de la línea de fabricación considerando la priorización MOO. El enfoque representa una transición a un nuevo estado optimizado para la organización en estudio; a medida que se adentra en el ámbito de la Industria 4.0 mediante el uso de modelos y análisis de simulación basados en agentes.

Gundogar et al., (2016) en su estudio analizan la línea de fabricación de colchones de muelles de una empresa fabricante de muebles. La empresa quiere incrementar su producción con nuevas inversiones. El objetivo en la investigación es encontrar los cuellos de botella en la línea de producción para equilibrar el flujo de material semiacabado. Estos cuellos de botella se investigan y se prueban varios escenarios diferentes para mejorar el sistema de fabricación actual. El problema se resuelve con el enfoque TOC y con un método heurístico basado en simulación. Las alternativas casi óptimas están determinadas por los modelos de sistema integrados en el software de simulación Arena 13.5. Los resultados muestran que aproximadamente el 46% de las mejoras de capacidad con 2 amortiguadores de inventario aumentan la producción promedio en un 88,8%.

Reyes et al., (2015) proponen la aplicación de amortiguadores de inventario como herramienta de gestión para el suministro de materia prima en la industria del calzado. Esta técnica basada en la visión holística conseguirá el óptimo global del sistema dando importancia a los factores que impiden el éxito de las empresas. En este contexto, se identifica que la demanda del mercado es la restricción del sistema para el desarrollo del programa maestro de producción. Teniendo esto en cuenta, se concentran todos los materiales en un almacén central para establecer niveles óptimos de inventario o amortiguadores. Utilizando una técnica de colores tipo semáforo, el programa de pedido de materiales se revisa periódicamente mediante la gestión dinámica del amortiguador.

2.1.3 Cadena Crítica

Fundamentos CCPM

Lo primero que la cadena crítica pretende defender es la idea de que añadir colchones de seguridad a todas y cada una de las tareas no tiene ningún sentido. Este tipo de actitud nos lleva a preocuparnos por terminar cada tarea a tiempo, cuando lo que realmente importa es finalizar el proyecto en el plazo previsto. La cadena crítica tiene una filosofía totalmente opuesta: trata de gestionar exactamente la imposición del plazo mínimo en que un proyecto puede ser realizado. Se puede definir entonces la cadena crítica como la secuencia de tareas más corta teniendo en cuenta conflictos de recursos (Mármol García, 2019).

El método de la cadena crítica (CCPM por sus siglas en inglés) es considerado como uno de los más importantes avances en el Project Management en los últimos treinta años y tiene su origen en la teoría de restricciones. La cadena crítica, por lo tanto, sugiere que se planifiquen las actividades estimando sus duraciones de forma agresiva, reduciendo el tiempo hasta un nivel que permita la realización de su ejecución sin comprometer su calidad (Mármol García, 2019).

CCPM fue creado por el Dr. Eliyahu Goldratt Goldratt, (2007) en la década de 1990 en gran parte debido al mal desempeño del cronograma de CPM. CCPM cambia tanto la planificación como la ejecución de proyectos para proporcionar más enfoque en las tareas que deben completarse de manera eficiente para que el proyecto se realice a tiempo. En la actualidad, CCPM se aplica en una amplia gama de tipos de proyectos, incluidos muchos ejemplos en el desarrollo de productos.

El libro de Goldratt “La Cadena Crítica” Goldratt, (2007) afirma que la medida principal de la eficacia de la gestión de proyectos es el cronograma. La restricción para esta medición es la ruta a través de la red del proyecto que es más larga que todas las demás. La denomina cadena crítica, pero es casi idéntica a la ruta crítica utilizada en CPM (la principal diferencia entre las dos es la técnica utilizada en la cadena crítica para evitar conflictos de recursos).

Se puede planificar un solo proyecto de cadena crítica construyendo primero la red de tareas y luego siguiendo los pasos que se muestran a continuación Ellis, (2015).

Paso 1. Eliminar las restricciones de recursos

Paso 2. Convertir 90% de certeza en 50% de certeza

Paso 3. Agregar el buffer alimentador

Paso 4. Usar la mentalidad de corredor de relevos

Paso 5. Agregar el buffer de consolidación

Cadena Crítica y Ruta Crítica

El método de la ruta crítica calcula las fechas teóricas de inicio y finalización tempranas y tardías para todas las actividades a través de un análisis que recorre toda la red del cronograma de manera bidireccional (hacia adelante y hacia atrás) pero teniendo en cuenta que obvia las limitaciones de recursos (Castro Martínez, 2015).

El método de la cadena crítica aplica modificaciones en el proyecto en relación a las restricciones de recursos. A partir de la ruta crítica se tiene en cuenta la disponibilidad de recursos y se determina el resultado. Al resultado, una especie de nueva ruta crítica, se la denomina cadena crítica. Lo que ofrece es un margen de incertidumbre algo mayor, a través de colchones de duración que se pueden colocar al final de las actividades o de la cadena para proteger las fechas de finalización de cualquier retraso imprevisto que pueda afectar a la cadena crítica. En base a ello lo que gestiona esta técnica es las duraciones residuales de los colchones en función de las duraciones restantes de las cadenas de tareas, en lugar de manejar la holgura total de los caminos de red (Castro Martínez, 2015).

El método de la cadena crítica es un medio de añadir un tiempo de buffer a actividades identificadas por lo general en la ruta crítica, para explicar los recursos limitados y las incertidumbres del proyecto. La cantidad de buffer generalmente es elaborada utilizando la información histórica o el análisis cuantitativo de riesgos. El propósito de añadir un buffer es garantizar que las actividades sobre la ruta crítica que se identifican como importantes actividades de alimentación; es decir, aquellas que producen trabajo para actividades sucesoras- siempre tengan holgura para asegurar que no se deslizen y hacen que la duración de los proyectos se extienda (Angulo Aguirre, 2014).

Investigaciones Relacionadas

Ma et al., (2019) mencionan que la gestión de proyectos por cadena crítica minimiza el riesgo de progreso mediante el establecimiento de un amortiguador o buffer. Basado en los métodos de gestión de la cadena crítica, su investigación propone una técnica mejorada que combina la cadena crítica con la técnica tradicional del valor ganado. Con referencias extraídas de los métodos PERT, este método determina la duración programada en tres situaciones: buffer no consumido, buffer completamente

consumido y buffer probablemente consumido, transforman la duración del proyecto de la cadena crítica en la duración del proyecto de valor ganado tradicional, y luego llevan a cabo el análisis del valor ganado. Al mismo tiempo, se mejora el seguimiento del consumo del buffer. El método controla el cronograma del proyecto tanto a nivel externo como interno, lo que mejora la precisión y flexibilidad del monitoreo de la duración.

Su et al., (2016) estudian de forma sistemática el rendimiento de CCPM para los programas de producción probabilísticos. Se plantea la hipótesis de que la complejidad de las redes influye en la eficacia con la que los buffers asignados pueden cumplir su función protectora de perturbaciones. Por lo tanto, esta investigación explora la relación entre los índices de complejidad y el desempeño de mitigación de demoras de CCPM. Su contribución al cuerpo de conocimiento es doble: primero, se revisan los índices de complejidad de la red de programación y se desarrolla un módulo de gráficos de la red de programación, que identifica la cadena crítica y las ubicaciones de buffers. En segundo lugar, la CCPM se aplica a redes de diferente complejidad con duraciones probabilísticas. Su desempeño se mide en simulaciones de Monte Carlo para evaluar la eficacia de la asignación de buffers en varios escenarios diferentes.

Gómez & Jiménez, (2014) analizan la aplicación de CCPM en el sector de la construcción, específicamente en la gestión de contrataciones al ser una de las actividades más importantes dentro de la ejecución de una obra. Se revisa la metodología para la gestión de la contratación que se lleva a cabo como un proyecto per se en el cual se muestran resultados exitosos. La investigación identifica que la aplicación de CCPM resulta en un adelanto de 20 días en la programación general del proyecto.

Cuartas Montoya & Lopera Zapata, (2009) proponen incorporar los conceptos de la gestión de proyectos con TOC al estándar del Project Management Institute (PMI). Para alcanzar este objetivo se estudian dos áreas del estándar PMI: gestión del tiempo y gestión del costo. Posteriormente, se define como aplicar CCPM en la creación de cronogramas y aplicación de buffer al final de la cadena crítica y buffer de alimentación para evitar desfases en las fechas de entrega. Se identifica que la aplicación de los conceptos de la TOC disminuye los retrasos en el inicio de las

actividades y eliminan la generación de multitareas. Esto influye en un tiempo menor de duración del proyecto e incluso se termina con tiempo de anticipación.

Huang & Yang, (2009) se enfocan en la reducción del tiempo de entrega de un producto en el entorno de fabricación del proyecto y mejorar la tasa de finalización a tiempo, se desarrolla un nuevo enfoque basado en CCPM para establecer el tiempo de entrega. Después de analizar las características de la fabricación de proyectos, se concluye que los métodos actuales para establecer el tiempo de entrega por lo general no funcionan bien para la fabricación de proyectos. Para el proyecto, la fabricación tiene las mismas características que un proyecto, se incorpora CCPM, se propone un enfoque de cuatro pasos que implica definir un proyecto, identificar la cadena crítica, establecer amortiguadores y construir el plan del proyecto, para establecer el tiempo de entrega. Un experimento de simulación indica que el enfoque propuesto supera al método de la ruta crítica.

Guada, (2015) propone un modelo de planificación de actividades basado en TOC para la gerencia de proyectos en dos empresas objeto de estudio en el sector inmobiliario. Se detecta que los proyectos presentan desviaciones de hasta el 25% del tiempo planificado para la terminación, siendo la inadecuada planificación, la falta de inventarios y el desconocimiento del alcance los factores preponderantes para estos efectos negativos. En este contexto, se plantea la aplicación del método de la CCPM a través del cual se garantiza que los proyectos finalicen en menor tiempo, reducción de costos y aprovechamiento de los recursos. Se usa buffers alimentadores durante la ejecución de los proyectos y se coloca un buffer al final del proyecto lo que permite garantizar el cumplimiento de las fechas de entrega prometidas.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

La investigación se realizó en la empresa Carrocerías Jácome de la ciudad de Ambato, en el proceso de elaboración de carrocerías.

3.2 Equipos y Materiales

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales:

- Computadora
- Tablero soporta hojas
- Impresora
- Cámara de fotos
- Cronómetro
- Software de soporte

3.3 Tipo de Investigación

3.3.1 Cuantitativa

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que se planteó el problema con su objetivo y pregunta; así: aplicar el método de la cadena crítica de la teoría de restricciones para la gestión de tiempos de elaboración de una carrocería y ¿se incrementa nivel de cumplimiento de fechas de entrega de proyectos de carrocería? Se revisó estudios recientes sobre teoría de restricciones, metodologías de gestión de proyectos, análisis de procesos, diagramación Gantt, cadena crítica y software para gestión de proyectos. Se usó diagramas de proceso, análisis de tiempos y cálculos de capacidad de producción para la situación actual de la gestión de actividades de elaboración de una carrocería. Con diagramación Gantt se determinó la cadena crítica y se propuso mejoras a través de solapar actividades y cálculo de amortiguadores de tiempo. Los resultados se compararon de forma numérica y se determinó las variaciones porcentuales en cada uno.

3.3.2 Experimental

El tipo de investigación es experimental ya que la propuesta se diseñó en base a la presencia de imprevistos durante la elaboración de una carrocería los que determinan atrasos en las entregas de los proyectos, se evaluó la afectación de perturbaciones dentro del sistema con gestión tradicional y con gestión de cadena crítica. Las variables de entrada son el tiempo de ciclo por proceso, cadena crítica e incertidumbre y las variables de salida son el throughput, nivel de cumplimiento de fechas de entrega y porcentaje de penetración del amortiguador.

3.3.3 Correlacional

Se considera que el alcance de la investigación es correlacional ya que se comparó el nivel de cumplimiento de fechas de entrega con gestión tradicional de tiempos y con gestión de tiempos a través de cadena crítica de la teoría de restricciones. Se realizó comparaciones estadísticas del throughput, nivel de cumplimiento y porcentaje de penetración del proyecto en los amortiguadores. Los resultados de estos indicadores se analizaron para determinar incremento o disminución e inferir mejoras en el proceso por la aplicación de la propuesta.

3.4 Población y muestra

Para este caso, la población de estudio se encuentra en la empresa Carrocerías Jácome.

Tabla 3-1: UNIDAD DE OBSERVACIÓN.

Proceso	Número de Personas	Porcentaje
Preparación de materiales	1	8%
Estructura	2	17%
Forrado	2	17%
Pintura	2	17%
Acabados	2	17%
Electricista	2	17%
Supervisor	1	8%
Total	12	

En virtud de que el número de elementos es menor a 100, se trabaja con todo el universo sin que sea necesario sacar muestra representativa.

3.5 Recolección de Información

Tabla 3-2: PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Preguntas básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de la investigación.
2. ¿De qué persona u objetos?	Materiales y trabajadores de Carrocerías Jácome.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Indicadores (matriz de Operacionalización de Variables).
4. ¿Quién, quienes?	Investigador.
5. ¿Cuándo?	En el tercer trimestre del 2020.
6. Dónde?	Carrocerías Jácome
7. ¿Cuántas veces?	Las que sean necesarias.
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Observación, diagramas de flujo
9. ¿Con qué?	Hojas de registro de producción, diagramas Gantt, flujos de proceso.
10. ¿En qué situación?	Durante el desarrollo de los turnos de producción en Carrocerías Jácome.

3.6 Procesamiento de la información y análisis estadístico

3.6.1 Plan de Procesamiento de la Información

- Análisis crítico de la información recogida, clasificación de información: de calidad, defectuosa, contradictoria, incompleta, etc.
- Organización de los datos recolectados.
- Llevar a cabo análisis estadísticos, gráficos y comparaciones numéricas, u otras operaciones en los datos de forma apropiada.
- Interpretación y presentación de los resultados.

3.6.2 Análisis e Interpretación de los Resultados

- Análisis de los resultados obtenidos en el flujo de proceso, tiempos de producción y diagramación Gantt y las mediciones que se utilizan en el plan para la recolección de la información, verificando las relaciones entre las variables, en función de los objetivos planteados.
- Interpretación de los resultados con apoyo del estado del arte.
- Establecimiento de las conclusiones y recomendaciones.

3.7 Variables respuesta

3.7.1 Variable Independiente: Método de la cadena crítica para gestión de tiempos

Tabla 3-3: OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE INDEPENDIENTE.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El método de la cadena crítica se deriva de la aplicación de la teoría de restricciones a la gestión de proyectos. La TOC identifica a la cadena crítica como la restricción del proyecto y es la secuencia más larga de actividades dependientes. La cadena crítica argumenta que el hecho de tener incertidumbre en los proyectos, es algo inherente a estos, y puede causar retrasos si no se gestionan correctamente.	Teoría de restricciones	Tiempo de ciclo por proceso	¿Cuál es el tiempo de ciclo de los procesos para elaboración de una carrocería?	Hojas de registro de producción
	Cadena Crítica	Tiempo de duración del proyecto	¿Cuál es el tiempo de duración del proyecto?	Diagrama Gantt
	Incertidumbre	Tiempo de atraso en la entrega	Históricamente, ¿cuál es el tiempo de colchón que se ocupa para acordar fechas de entrega?	Hojas de registro de producción

3.7.2 Variable Dependiente: Nivel de cumplimiento de fechas de entrega

Tabla 3-4: OPERACIONALIZACIÓN VARIABLE DEPENDIENTE.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>La cadena crítica persigue un objetivo común: la optimización del flujo del sistema, lo que en el caso de la cadena crítica se traduce en favorecer una mayor velocidad de ejecución de las actividades del proyecto y cumplir con las fechas de entrega determinadas. El método usa amortiguadores que es un tiempo que se ubica al final de una secuencia de actividades para proteger las actividades de las fluctuaciones e inconvenientes.</p>	Flujo del sistema	Throughput	¿Cuál throughput en la elaboración de una carrocería?	Diagrama de Proceso
	Fechas de entrega	Nivel de cumplimiento	¿Cuál es el nivel de cumplimiento de las fechas de entrega?	Registros históricos, análisis estadístico
	Amortiguador	Porcentaje de penetración en el amortiguador	¿Cuál es el porcentaje de penetración en el amortiguador?	Diagrama Gantt

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de la empresa

Carrocerías Jácome comienza sus operaciones en el norte de la ciudad de Ambato en el sector del Pisque en septiembre de 2004 y en noviembre de 2011 se traslada a su propia planta de producción ubicada en Huachi Grande. Desde sus inicios, Carrocerías Jácome se ha preparado para mejorar la vida diaria de los usuarios, con transparencia, seriedad y mucha pasión, siendo esto su pilar fundamental que les encamina a seguir creando, innovando y creciendo.

Carrocerías Jácome, es una empresa fabricante de carrocerías que tiene una completa línea de vehículos que incluye buses interprovinciales, urbanos, microbuses urbanos, escolares y especiales, producidos a través de altos estándares de calidad. Los detalles de cada vehículo se desarrollan de acuerdo con la necesidad del mercado y el gusto de cada cliente, lo que los hace personalizados y únicos.

La compañía oferta productos que cumplen con normas de calidad, satisfacen las necesidades de sus grupos de interés, como son pasajeros y transportistas, integrando la mejora continua en sus procesos, con un equipo humano altamente capacitado, con tecnología adecuada que les permite operar de manera sustentable.

La compañía se caracteriza por tener seguridad garantizada y apariencia estilizada a fin de satisfacer las diferentes demandas de sus clientes y sobre todo que cumpla con los requerimientos de las Normas y Reglamentos Técnicos del INEN y ANT.

4.1.1 Productos y Servicios de Carrocerías Jácome

Bus Interprovincial

El bus interprovincial ofrece gran confort, seguridad, rendimiento y altos estándares de calidad, ajustándose fácilmente a las exigencias de usuarios y conductores. Su robusta construcción en perfilería de acero le da prestaciones de gran resistencia y

durabilidad, lo que garantiza a sus pasajeros y tripulación que tengan un alto grado de seguridad.

Desde la selección de materiales hasta su entrega final el control de los procesos se realiza bajo un efectivo sistema de gestión de Calidad. Todos los modelos se analizan mediante pruebas estructurales que garantizan su seguridad.

Bus Urbano

El bus urbano es una apuesta realista para las necesidades actuales del transporte urbano de pasajeros de ciudad, ya que cuenta con un gran espacio en tamaño compacto y siendo cada vez más ligero, seguro y respetuoso con el medio ambiente.

Con un diseño interior natural, acogedor, espacioso y simple, este bus puede mantener el aire fresco a través de sus ventanas laterales extra-grandes las mismas que permiten ampliar el campo de visión desde el interior del bus.

Bus Escolar

Este tipo de vehículo se usa para Transporte de Personal y Estudiantes. El autobús escolar es de rendimiento estable y diseño cómodo.

Diseños Especiales

Carrocerías Jácome también es una empresa que aporta ideas innovadoras en la producción de carrocerías metálicas con productos que siempre están en constante innovación, ya que se producen con tecnología moderna, son resistentes, livianos y principalmente por su tiempo de vida útil, aplicables a carga, oficinas, laboratorios, talleres y almacenes móviles fabricados en acero y/o aluminio.

- Furgones estándar o Térmicos para carga.
- Remolques para laboratorios en la industria petrolera.
- Furgones estándar para talleres y almacenes móviles.
- Furgones Térmicos para Oficinas.
- Ambulancias tipo A, B y adecuaciones.
- Mantenimiento y reparación.

4.2 Sistema Productivo

En esta sección se hace el levantamiento de las características del sistema productivo de Carrocerías Jácome, se identifica el mapa de procesos, las entradas y salidas principales, el tipo de modalidad de trabajo para la gestión de actividades y el proceso de producción para la elaboración de carrocerías.

4.2.1 Descripción de los procesos

En Carrocerías Jácome se tiene gestión por procesos como se indica en la Figura 4-1; se coloca un responsable por cada una de las áreas que se definen y los procesos tienen objetivos específicos que se relacionan entre sí. Dentro de la compañía los procesos estratégicos son planificación y marketing cuyo propietario o responsable es el Gerente General, aquí se define la estrategia financiera, operativa y comercial a través de la cual la compañía ejecuta acciones para alcanzar las metas que se establecen.

Dentro de las definiciones de la compañía se tienen cuatro procesos clave cuya entrada y salida son los clientes. El primer proceso clave es Ventas cuyo objetivo es asegurar el cumplimiento del presupuesto de ventas dentro de la organización con un único responsable que es el Gerente Comercial. En este proceso, se ofertan todos los productos de la compañía y se levantan proformas por cliente.

El siguiente proceso clave es Diseño el cual tiene relación directa con ventas pues recibe de este las características que solicita el cliente para una carrocería. El objetivo de este proceso es verificar el cumplimiento de los requisitos técnicos y legales tanto del cliente como de los organismos de control de buses. En este proceso existe un único responsable que es el Gerente de Diseño.

Los dos últimos procesos clave y que son aquellos en los que la carrocería toma forma y se realiza la transformación de materias primas en producto terminado son Fabricación Carrocerías y Producción de Piezas y Partes. En el primer caso, se encuentra todo el proceso de producción de carrocerías con un tiempo de entrega considerable. En el segundo caso, se diseña, valida, produce, ensamble y comercializa partes y piezas, además, se realiza reparaciones de carrocerías.

Carrocerías Jácome cuenta con cuatro procesos de apoyo que soportan la gestión de actividades de forma paralela, estos son, recursos humanos que garantiza se cuente con personal competente dentro de la compañía; compras que abastece de materias primas y materiales a la empresa acorde a las necesidades y ejecuta el almacenamiento en bodegas; calidad que valida la conformidad del sistema de gestión y del producto terminado con los requisitos; infraestructura que determina la metodología para la planificación y ejecución del mantenimiento de maquinaria e instalaciones de la planta, que asegure su funcionamiento correcto y su conservación.

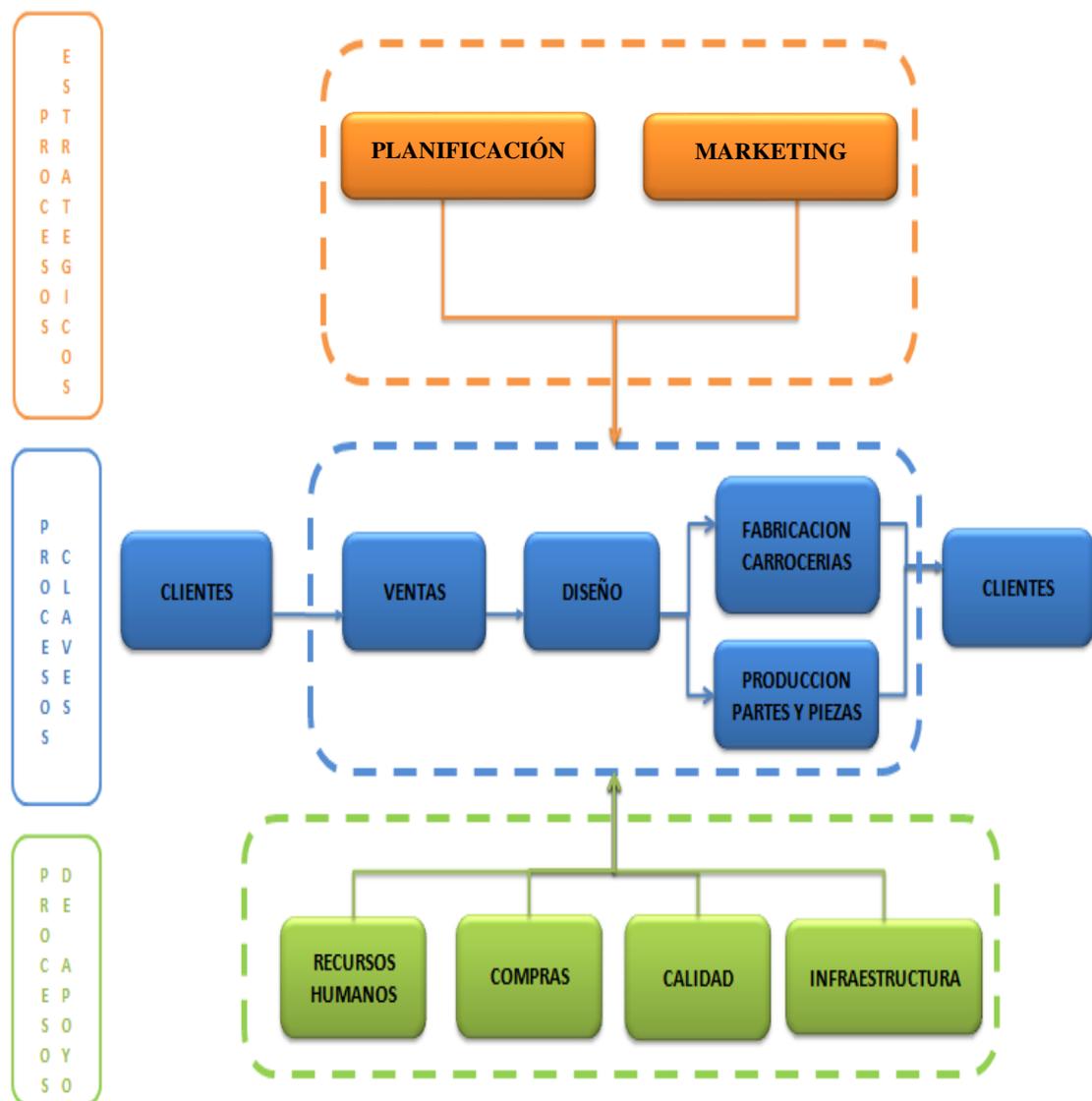


Figura 4-1: Mapa de Procesos Carrocerías Jácome.

El proceso clave de Fabricación Carrocerías cuenta con subprocesos que determinan la producción en secuencia de una carrocería, la Figura 4-2 muestra los cinco subprocesos que se ejecutan dentro de la compañía con responsabilidad propia: recepción chasis, ensamble y anclaje de estructura, forrado exterior, preparación y pintura y terminado. Se muestra un proceso que se ejecuta fuera de la compañía y con responsabilidad externa: tercerizados. Finalmente, se muestra la relación que existe entre el proceso clave Producción de Partes y Piezas y Fabricación Carrocerías.



Figura 4-2: Subprocesos Fabricación de Carrocerías.

4.2.2 Análisis SIPOC

La descripción de cada proceso se realiza con la metodología SIPOC en la que se identifica proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes. Este análisis desglosa de forma detallada el sistema productivo de Carrocerías Jácome que pretende inferir la situación actual de la gestión de actividades dentro de la compañía.

El Anexo 01 muestra el SIPOC de los procesos estratégicos Planificación y Marketing, se identifica que la gestión de actividades parte del proceso de planificación con el plan de actividades; es decir, el Gerente de Planta se encarga de la programación de tiempos de cada uno de los procesos dentro de la compañía, se deduce que el tiempo de entrega se calcula en este proceso.

El Anexo 02 muestra el SIPOC de los procesos clave Ventas, Diseño, Fabricación Carrocerías y Producción de Partes y Piezas, se identifica que el proceso de ventas es una entrada principal para que inicie el proceso de planificación de actividades ya que se genera el contrato que resulta en una orden de trabajo; a partir de allí se lanza el plan de actividades e inicia el proceso de diseño cuyas salidas son primordiales en el proceso de producción. Se observa que el plan de actividades es una entrada común para los procesos de Fabricación Carrocerías lo que refuerza la deducción de que el tiempo de entrega de una carrocería está regido por este plan.

En el proceso de producción de Partes y Piezas también se requiere del lanzamiento de un plan de actividades que permita la realización coordinada de los mantenimientos de carrocerías y se pueda brindar al cliente una fecha estimada de entrega.

El Anexo 03 muestra el SIPOC de los procesos de apoyo Recursos Humanos, Compras, Calidad e Infraestructura, se identifica que los procesos de compras y calidad pueden afectar directamente la gestión para el cumplimiento del plan de actividades; es decir, cuando no se cumplan los tiempos de compra de materiales o exista solicitudes de reproceso por parte de calidad, el tiempo de entrega de la carrocería se verá afectado.

Los procesos de recursos humanos e infraestructura deben asegurar la capacitación del personal y la disponibilidad de maquinaria respectivamente para que no se afecte el flujo normal de actividades que considera el plan.

4.2.3 Modalidad de trabajo

Carrocerías Jácome trabaja en un turno único de 8 horas en el que se tiene recurso humano para actividades de apoyo y/o administrativas y recurso humano para actividades de producción como en la Tabla 4-1. En la compañía laboran un total de 25 personas a las que se les asigna diferentes actividades y responsabilidades.

Cuando se tiene la entrada de una orden de trabajo el gerente de planta valida la necesidad de personal operativo y en la compañía se establece que una unidad completa de carrocería se produce con 7 personas internas y 3 personas externas que

se distribuyen así, el personal interno corresponde a los procesos de estructura, partes y piezas, forrados y acabados, el personal externo corresponde a los procesos de pintura e instalaciones eléctricas.

En la Tabla 4-1 se realiza el análisis del nivel de influencia que tiene un puesto de trabajo respecto del tiempo de entrega de una carrocería que se define en el plan de actividades por el gerente de planta. Se observa que existen puestos de trabajo con influencia indirecta; es decir, sus decisiones y tiempos de actividad no necesariamente alargan el tiempo de entrega de una carrocería, aunque, si el tiempo de actividad es demasiado largo o no se toma acción sobre la culminación del trabajo, el tiempo de entrega si podría verse afectado y alargarse.

Se observa otros puestos de trabajo con influencia directa en el tiempo de entrega de una carrocería; es decir, sus decisiones y tiempos de actividad aportan directamente al aumento o reducción del tiempo de entrega. Finalmente, existen puestos de trabajo con ninguna influencia sobre el tiempo de entrega de una carrocería.

En resumen, se tiene 3 puestos de trabajo con influencia indirecta, 13 puestos con influencia directa y 5 sin ninguna influencia. La mayor concentración de influencia directa se encuentra en el proceso de producción; sin embargo, existen dos puestos de trabajo que deben ser tomados con la debida importancia, siendo: diseño y compras procesos cuyas decisiones y tiempos de actividad podrían impactar positiva o negativamente al tiempo de entrega de una carrocería.

De acuerdo a las características que se observan en Carrocerías Jácome, se identifica que el modelo de gestión de actividades que se usa es del tipo TRABAJO POR OBRA en la Tabla 4-2; es decir, solo cuando se ejecuta la firma del contrato con el cliente se inician las actividades de producción de una carrocería. El modelo de producción es del tipo *make to order* (MTO) ya que se produce carrocerías solamente cuando hay un pedido en firme.

Tabla 4-1: RECURSO HUMANO POR PROCESO.

<i>Estructura</i>		<i># Personas</i>	<i>Modalidad de Trabajo</i>	<i>Influencia Tiempo de Entrega</i>	
Gerente General		1	Turno único 08:00 a 17:00	INDIRECTA	
	Secretaria	1		-	
Gerente Comercial		1		-	
Gerente de Diseño		1		DIRECTA	
Coordinador de Calidad		1		INDIRECTA	
Coordinador de Compras		1		DIRECTA	
Gerente Administrativo		1		-	
	Asistente Administrativo	1		-	
	Contador	1		-	
Gerente de Planta		1		DIRECTA	
	Responsable Grupo Estructuras	1		DIRECTA	
	Estructura	2		DIRECTA	
	Partes y Piezas	1		DIRECTA	
	Forrados	2		DIRECTA	
	Acabados	2		DIRECTA	
	Responsable Grupo Pintura	1		DIRECTA	
	Preparacion y Pintura	2		DIRECTA	
	Responsable Grupo Fibra de Vidrio	1		DIRECTA	
	Fibra de Vidrio	1		DIRECTA	
	Asistente Mantenimiento	1		INDIRECTA	
Electricistas		1		DIRECTA	
TOTAL		25			

Tabla 4-2: CARACTERÍSTICAS MODELOS DE GESTIÓN.

GESTIÓN DE ACTIVIDADES CARROCERÍAS JÁCOME	
ID	Descripción
A)	Arranque de producción por pedido en firme
B)	Adquisición de componentes externos por pedido en firme
C)	Diseño acorde a los requisitos del cliente
D)	Plan de actividades
E)	Acuerdo de tiempo de entrega entre cliente y fabricante
F)	Inicio de producción por pedido en firme
G)	Control por avance de obra

Tabla 4-2: CARACTERÍSTICAS MODELOS DE GESTIÓN
(Continuación).

MAKE TO ORDER	
ID	Descripción
A)	Un producto se realiza bajo pedido
B)	No se trabaja con un inventario fijo
C)	No existen excedentes de stock
D)	Artículos o productos más personalizados
E)	Periodo de entrega más largos
F)	Variedad mayor de productos
G)	Productos de acuerdo a especificaciones de clientes

La Figura 4-3 muestra el análisis comparativo de las características del modelo de gestión de actividades con el modelo de producción MTO. Se observa mediante un diagrama de venn la intersección de estos modelos por características comunes con lo que se confirma el tipo de gestión dentro de la compañía.

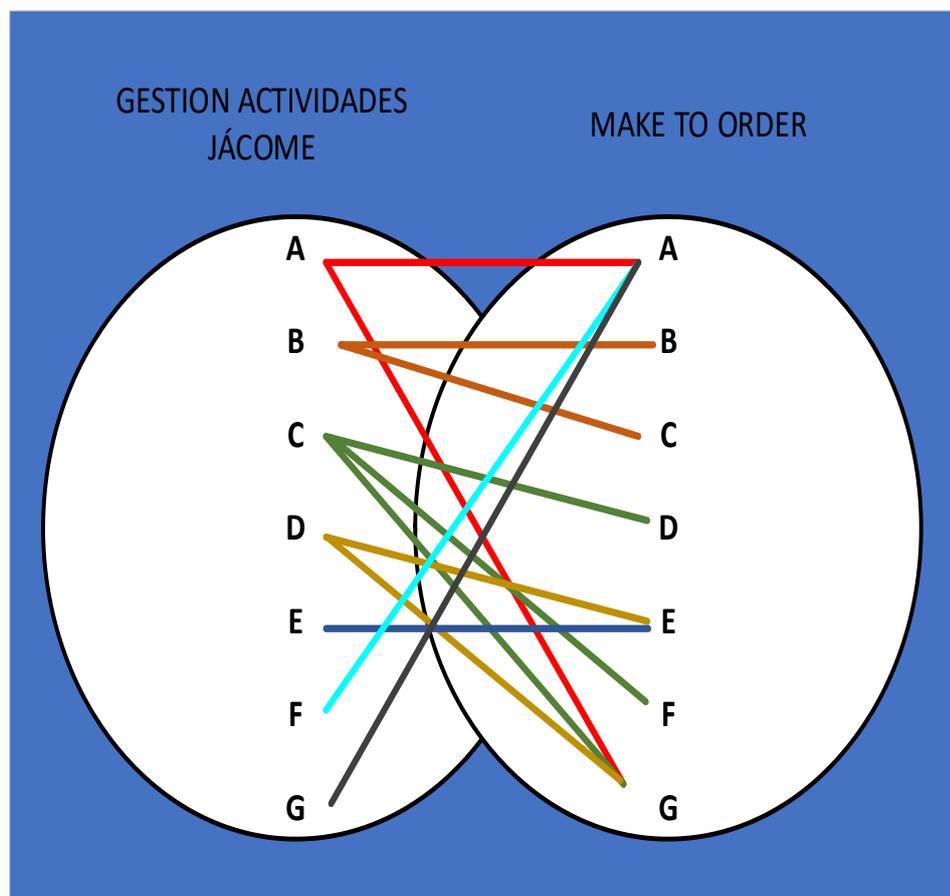


Figura 4-3: Relación entre modelos con diagrama de venn.

4.2.4 Trabajo por proyectos

La gestión de actividades en Carrocerías Jácome se realiza desde el punto de vista de un proyecto, se cuenta con un flujograma general que guía los esfuerzos de cada área desde la recepción de un pedido de cliente hasta la entrega del producto terminado.

La Figura 4-4 muestra el flujograma que la compañía define para la construcción de una carrocería, se toma en cuenta que debido al tiempo que conlleva la construcción del producto la gestión de actividades se realiza centralizada; es decir, una vez que producción recibe la información del diseño y se asegura la existencia de inventario de materiales se hace seguimiento al avance de la obra en cada proceso. En este caso, obra se refiere a la construcción de una unidad de carrocería para un cliente.

Externamente, las entradas del flujograma son los proveedores e insumos y en este caso no se toma en cuenta de forma directa los tiempos de entrega que pueden afectar en la gestión de actividades interna de la compañía. Como salidas, se tiene el producto terminado y la entrega al cliente con un tiempo promesa que se debe cumplir; sin embargo, no necesariamente se cumple. Como entradas de apoyo, se tiene calidad y la tecnología de la compañía que de acuerdo a lo que establece la compañía no se consideran directamente en la gestión de actividades.

En la parte central del flujograma cuando se obtiene un contrato, existe una orden de trabajo, se genera un diseño y se asegura disponibilidad de materiales, la producción de una carrocería inicia. En este caso, se gestiona las actividades dentro de la línea de producción en el que se define tiempos límite de entrega; sin embargo, el seguimiento no se hace por proceso sino por obra. Se refiere a que el seguimiento es global y no específico.

Desde el punto de vista crítico, el flujograma de la compañía no indica la línea de tiempo que toma la gestión de actividades y a pesar de que contrato, diseño y materiales se encuentran en la parte central no se toman en cuenta para la determinación de tiempos de entrega. Este enfoque provoca en fechas incumplidas e insatisfacción de clientes.

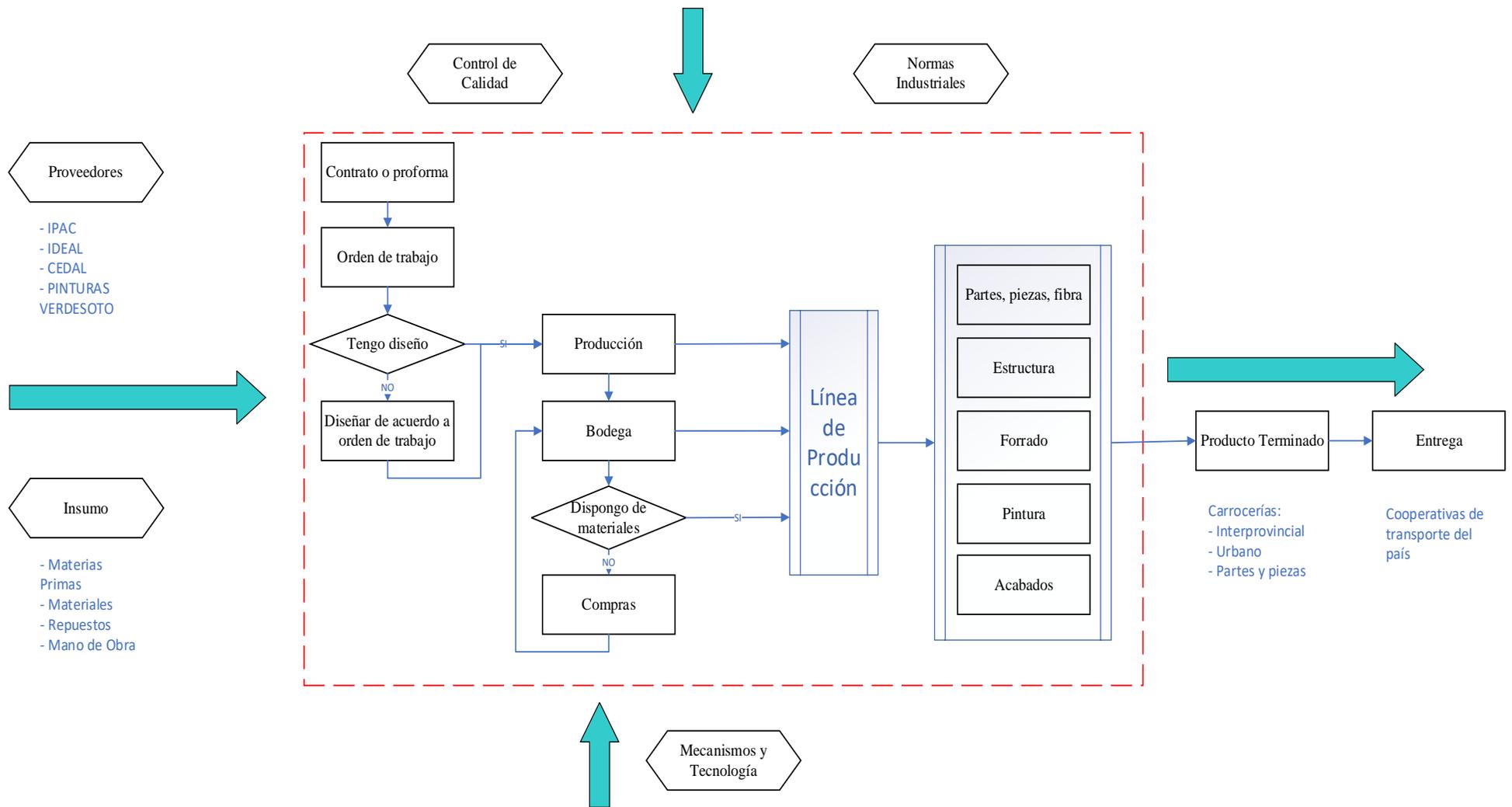


Figura 4-4: Flujograma de proyecto de construcción de una carrocería.

4.2.5 Diagrama de proceso

La línea de producción de Carrocerías Jácome cuenta con una distribución de planta por proceso que define a cada área en la que se llevan a cabo actividades con un mismo objetivo y el producto permanece fijo. En este contexto, se definen 6 áreas: preparación de partes y piezas, armado de estructuras, forrado de estructuras, pintura, acabados y área de pruebas. Estas áreas resultan en 10 procesos que se muestran en el diagrama de la Figura 4-5 que describe de forma global la línea de producción de Carrocerías Jácome. A su vez resultan en 36 actividades que se muestran en el diagrama de la Figura 4-6.

La construcción de una carrocería inicia con la recepción del chasis en el que se verifica el estado del chasis propiedad del cliente y se firma un acuerdo de entrega-recepción que detalla el acuerdo entre las partes. Posteriormente, se realiza el armado de estructuras que resulta en la obtención de una estructura metálica a partir de los planos técnicos que aseguran la resistencia de la carrocería. De forma anticipada y/o paralela, se realiza la preparación de partes y piezas que entrega los elementos de la estructura a la línea de producción.

En el área de forrado de estructuras se realizan dos procesos: forrado exterior y forrado interior que consisten en cubrir la estructura con planchas galvanizadas que aseguran la resistencia y dan la forma de la carrocería. Posteriormente, en el área de pintura se prepara y pinta la carrocería de acuerdo al diseño que solicita el cliente que en muchos casos depende de la cooperativa a la que pertenecen ya que tienen definido diseños institucionales.

El siguiente proceso que se realiza son los acabados finales que consiste en la colocación de ventanas, asientos, puertas, luces y conexión del sistema eléctrico siendo este proceso crucial ya que será en muchos casos lo que resulte en el confort que valide el cliente y sea aceptado de forma positiva.

Finalmente, se realiza los controles de calidad tanto internos como externos (entes de control) que autorizan la circulación de la carrocería para la posterior entrega al cliente.

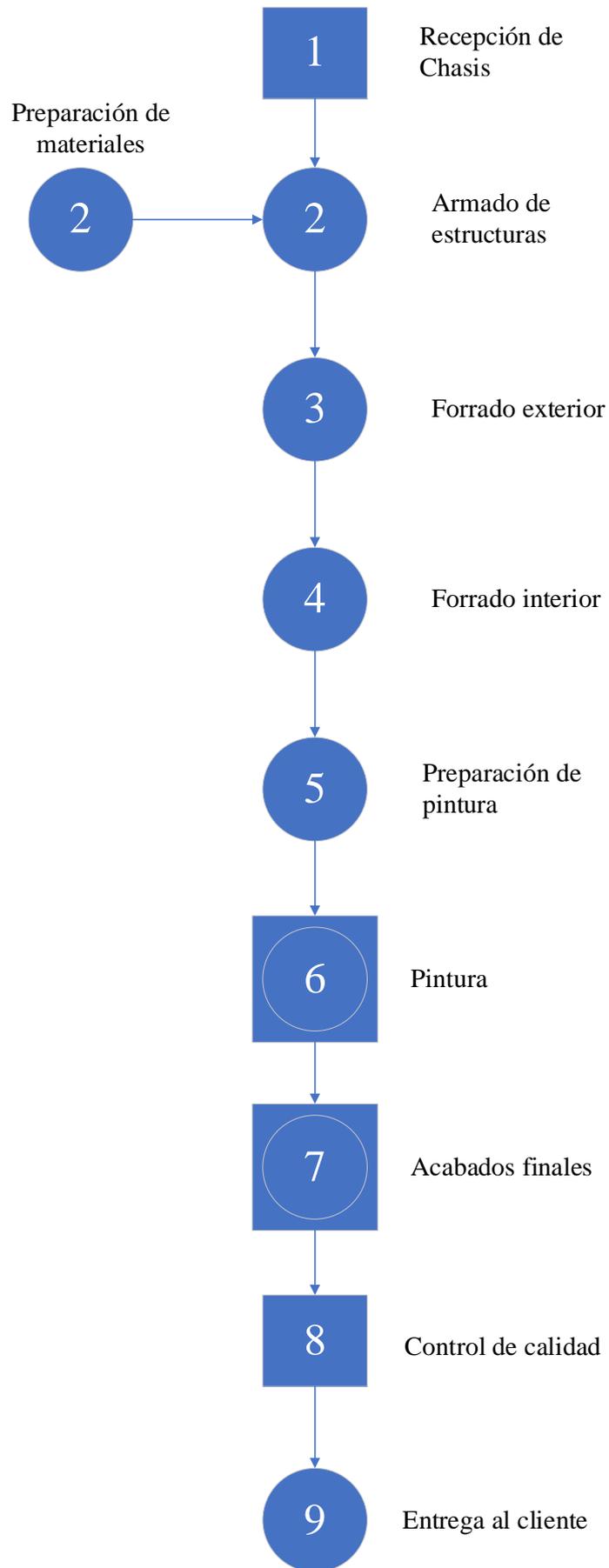


Figura 4-5: Diagrama de proceso general para construcción de una carrocería.

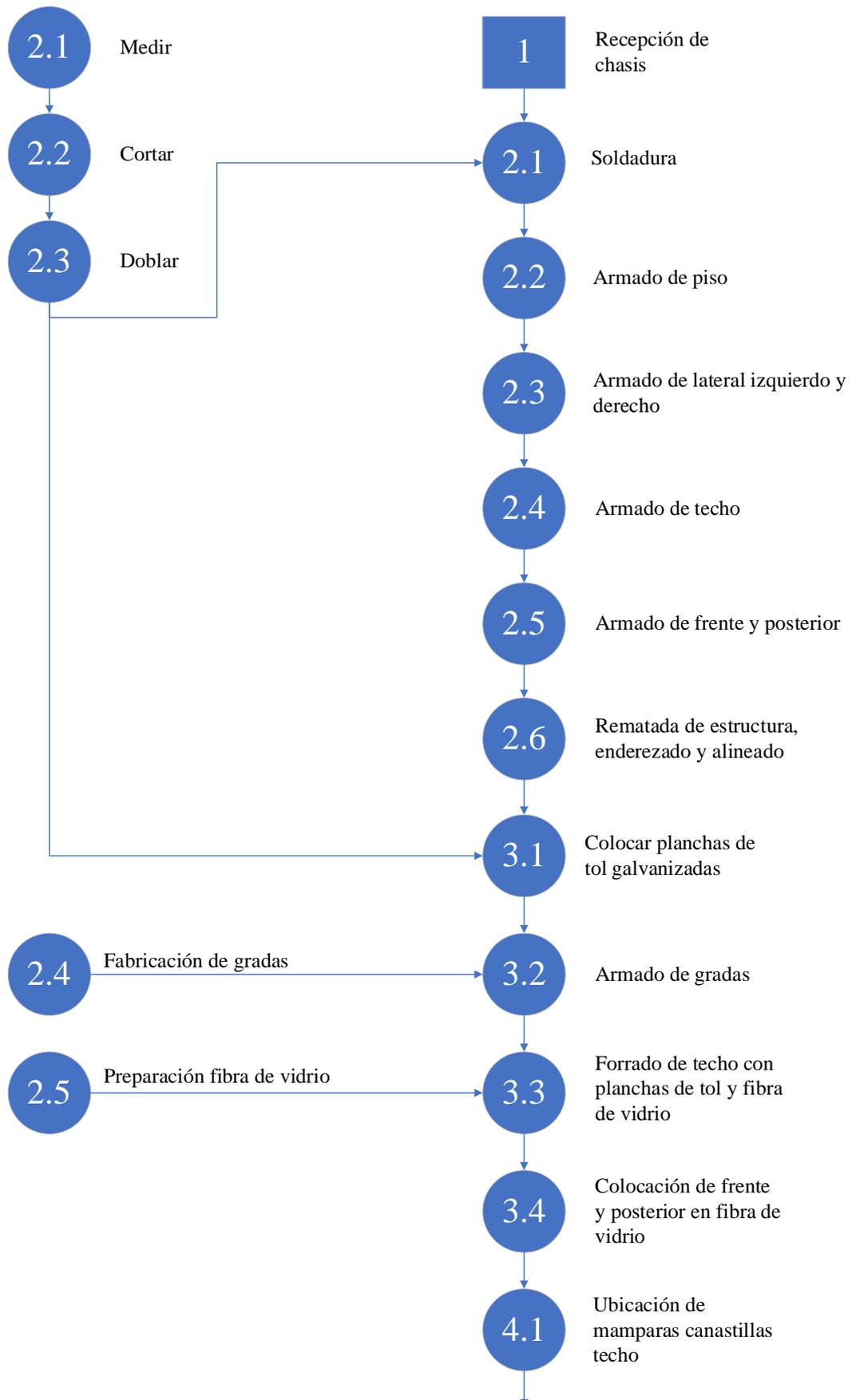


Figura 4-6: Diagrama de proceso detallado para construcción de una carrocería.

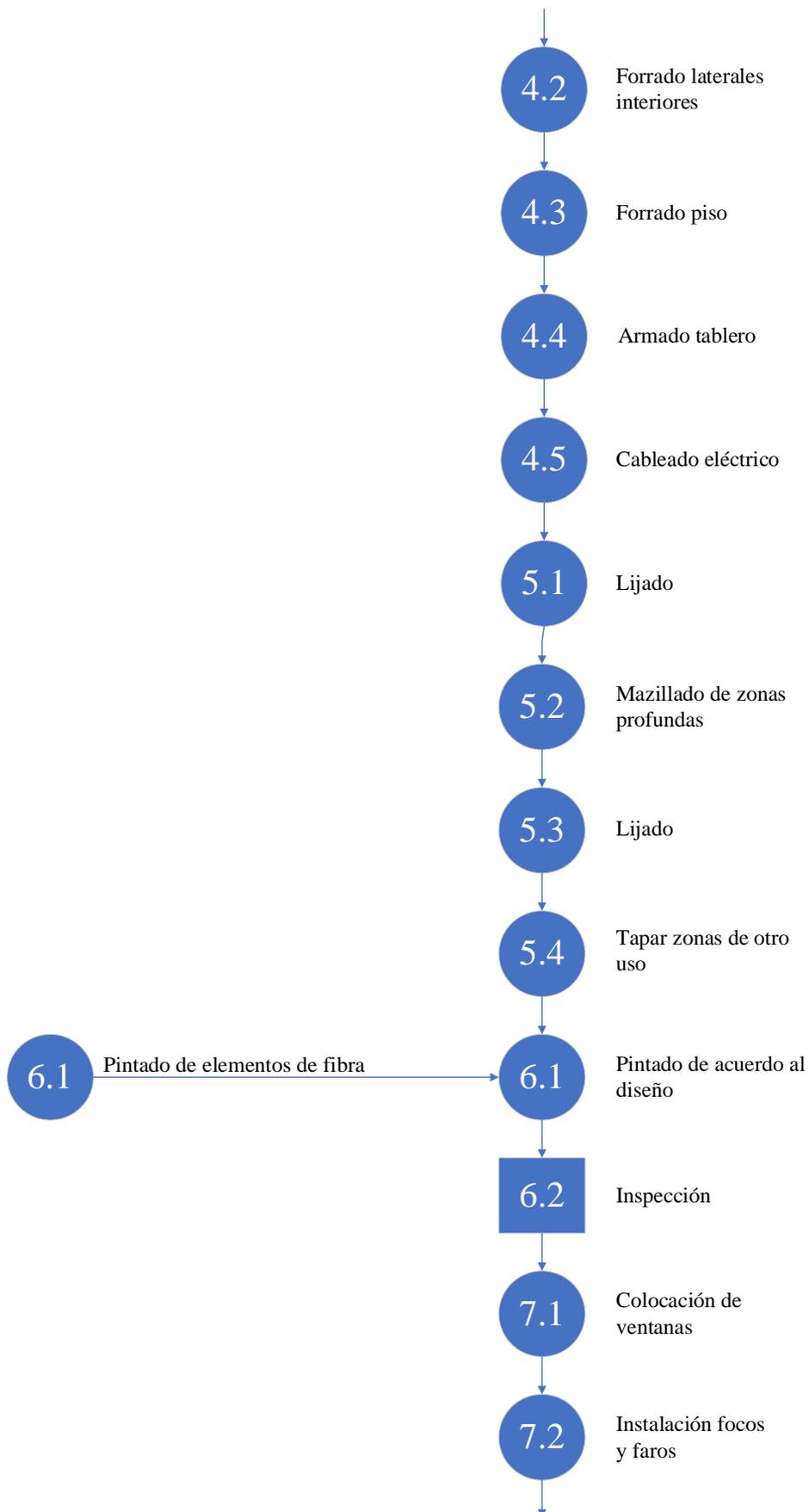


Figura 4-6: Diagrama de proceso detallado para construcción de una carrocería (continuación).

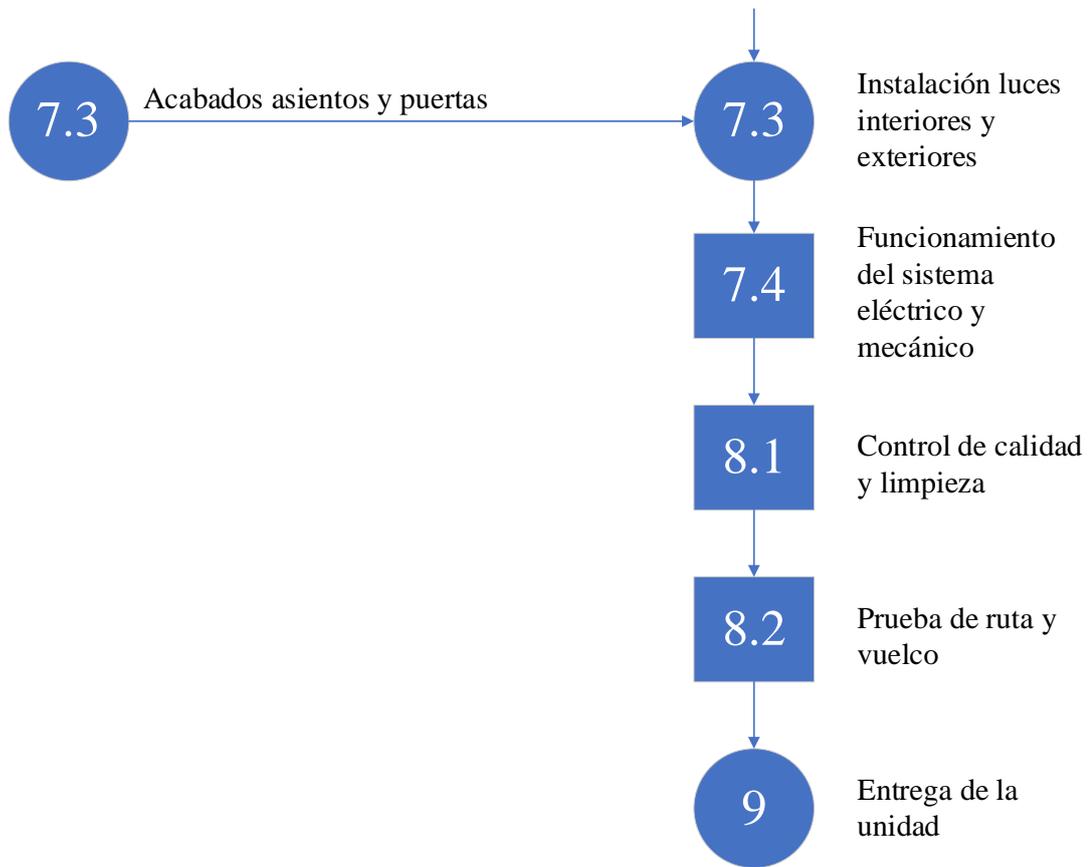


Figura 4-6: Diagrama de proceso detallado para construcción de una carrocería (continuación).

La construcción de una carrocería tiene un sinnúmero de tareas que se gestionan desde un enfoque más global; es decir, estas tareas se agrupan en actividades y estas en procesos. De acuerdo al análisis, se identifican 36 actividades que resultan en 10 procesos. El control de tiempos se realiza por obra y solo se incrementa cuando un proceso culmina.

En las Figuras 4-5 y 4-6 se identifican de forma numérica los procesos y actividades, respectivamente, estos se relacionan a través de su número, ejemplo, el forrado exterior es el proceso número 3 el cual tiene cuatro actividades principales numeradas como 3.1, 3.2, 3.3, 3.4. Estas actividades tienen tareas internas que para el caso de la gestión de actividades de la compañía no se planifican solo se controlan.

Solo en el caso de recepción de chasis y entrega al cliente el proceso es al mismo tiempo una actividad; es decir, en esta línea de producción un proceso puede contener varias actividades o solamente una.

4.3 Flujogramas de actividades

En esta sección, se determina las actividades que se llevan a cabo en los procesos que no corresponden a la línea de producción para la construcción de una carrocería. Se identifican a través de flujogramas funcionales las relaciones que existen entre las áreas de apoyo y los puntos en los que interaccionan con el proceso de producción.

4.3.1 Proceso de venta y contratos

El proceso de ventas y contratos está definido de acuerdo al mapa de procesos dentro de la categoría de procesos clave, en este sentido, la compañía pone énfasis en las ofertas de productos hacia el cliente para alcanzar el cumplimiento de las metas de venta de productos y asegurar la sostenibilidad del negocio.

Este proceso, no se toma en cuenta en la gestión de actividades para la construcción de una carrocería y el tiempo de entrega se calcula sin considerar este tiempo de ejecución de actividades. El criterio es que la construcción de una carrocería no inicia hasta que ventas alcance de forma efectiva la firma de un contrato que resulte en una orden de trabajo. En esta investigación se identifica que, dentro del flujograma de actividades de ventas de la Figura 4-7 se tiene la realización del diseño, actividad que si influye en el tiempo de entrega hacia el cliente por lo que el criterio actual de la compañía es errado.

Dentro del flujograma de actividades de ventas se evalúa si el pedido del cliente es genérico o personalizado del cual depende el tiempo total que llevará este proceso, ya que en el caso del segundo se requiere actividades adicionales relacionadas con el proceso de diseño.

El proceso de ventas es crucial para la compañía pues de este resultan la orden de trabajo que da la voz de inicio para el levantamiento del plan actividades que guía la gestión y del cual se desprende el tiempo de entrega hacia el cliente.

4.3.2 Proceso de adquisición de materiales

En el proceso de compras se identifican dos tipos de gestión, el primero para compras generales en la Figura 4-8 que abarca materiales de uso común para las carrocerías y en el que los tiempos de entrega de proveedores son mínimos y en muchos casos se desprecian.

En este caso, se denominan materias primas ya que el tiempo de producción de los proveedores no se toma en cuenta para la gestión de actividades de la compañía y las solicitudes de compra se analizan de forma programada e incluso se definen stocks mínimos a tener dentro de las bodegas. El flujograma de actividades inicia con la revisión de stocks con responsabilidad del gerente de planta y el coordinador de compras, reuniones en las que se define las cantidades a comprar y se hacen los pedidos a los proveedores los cuales posteriormente entregan en planta las materias primas.

Todas las materias primas pasan por un proceso de revisión en el cual se liberan o se rechazan y se realiza la retroalimentación a proveedores. En este caso, la gestión de actividades de compras generales es interna y no interviene en el tiempo de entrega hacia el cliente.

El segundo tipo de gestión, son las compras a procesos tercerizados en la Figura 4-9 que abarca materiales que se compran solo cuando se hace efectiva una orden de trabajo por un contrato que alcanza ventas. En este tipo de gestión, tiempos de entrega de proveedores si se toman en cuenta ya que son considerables.

En este caso, se denominan semielaborados ya que los tiempos de producción de los procesos tercerizados influyen directamente en el tiempo de entrega hacia el cliente. El flujograma de actividades inicia con la emisión de la orden de trabajo por ventas con la que se hace la revisión de semielaborados necesarios para el requerimiento hacia los procesos tercerizados quienes informan sus tiempos de entrega y la compañía negocia los términos para aproximar la gestión de tiempos dentro de su plan de actividades.

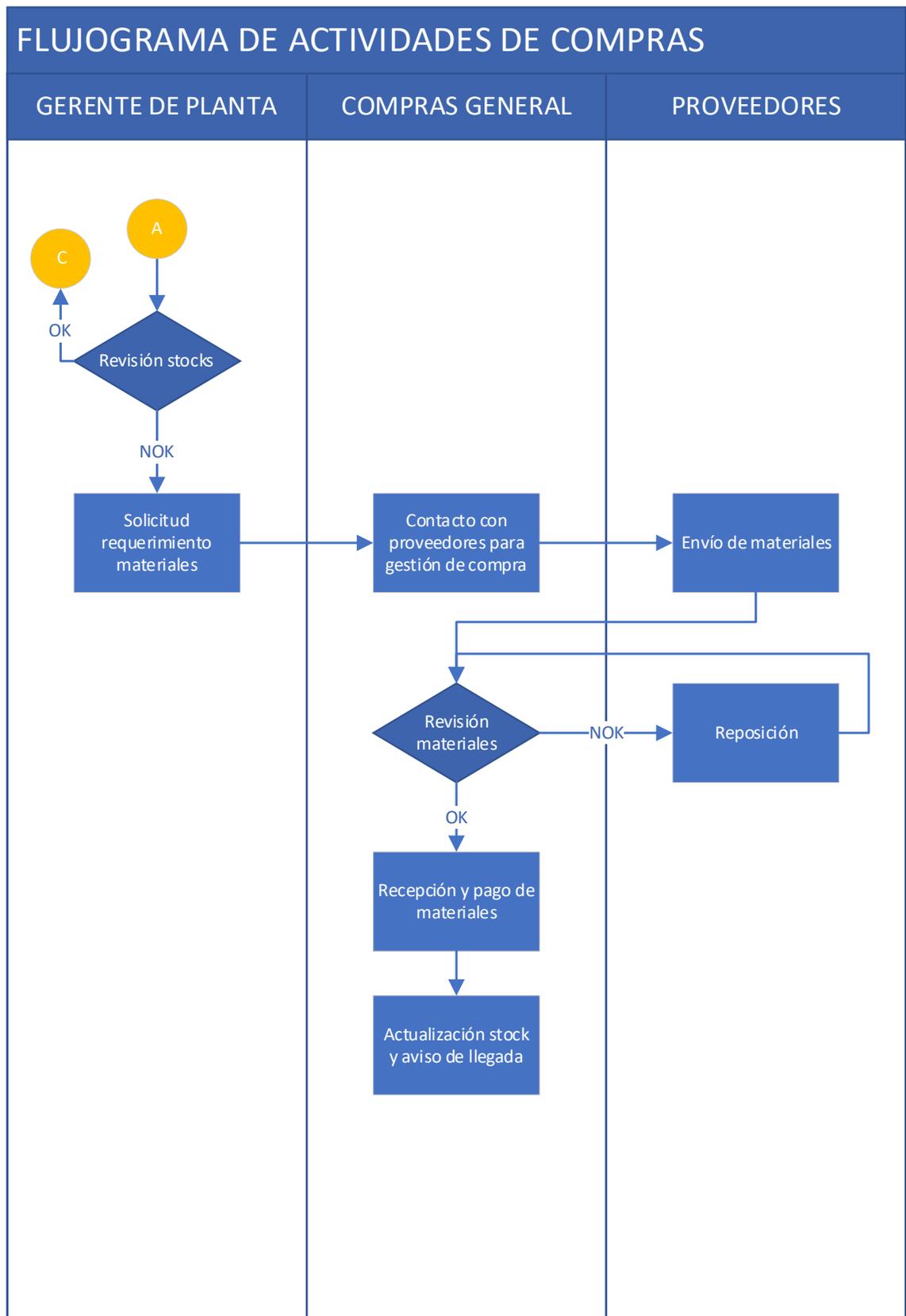


Figura 4-8: Flujoograma de actividades en COMPRAS GENERALES.

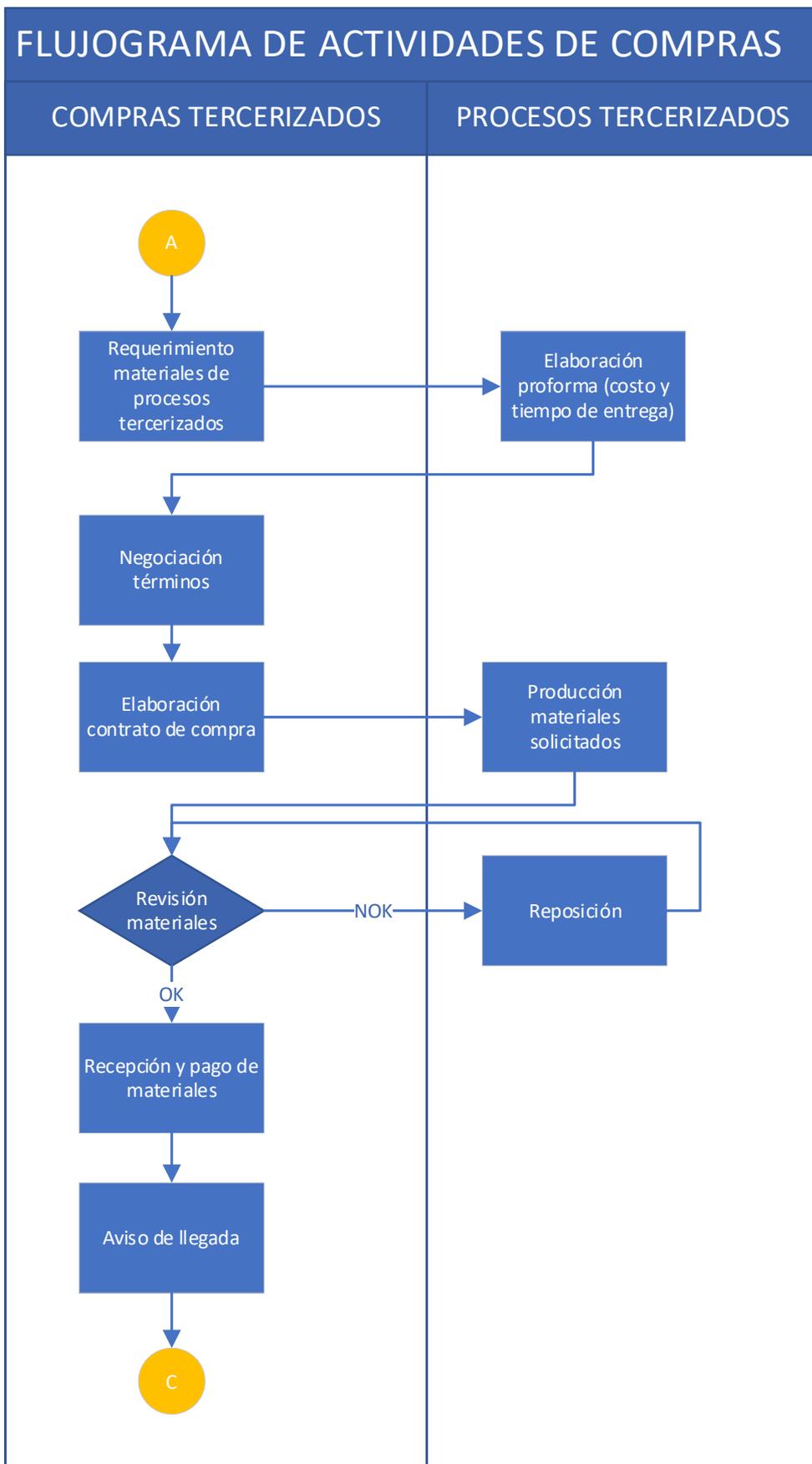


Figura 4-9: Flujograma de actividades en COMPRAS A TERCERIZADOS.

4.3.3 Proceso de diseño

El proceso de diseño se considera dentro del mapa de procesos de Carrocerías Jácome dentro de la categoría de procesos clave ya que en este se reflejan los requisitos del cliente y el cumplimiento legal que solicitan los entes de control.

La compañía en su sistema de gestión de actividades actual no considera los tiempos de ejecución de las actividades de diseño dentro del tiempo de entrega hacia el cliente; sin embargo, esta investigación identifica que este enfoque es erróneo pues en muchos casos los retrasos del proceso de diseño se reflejan en retrasos en la entrega de la carrocería al cliente.

Dentro del proceso de diseño se observa trabajos con diferentes categorías; así: cambios a nivel estructural, cambios en componentes de fibra de vidrio, cambios en asientos, ventanas, luces y demás que no afecten a la integridad de la estructura de la carrocería y modelos de carrocería ya aprobados. De acuerdo a la categoría, los tiempos de ejecución son mayores o menores.

El flujograma de la Figura 4-10 muestra las actividades para la obtención de un diseño aprobado tanto por el cliente como los entes de control en el que se identifica que la participación del cliente y diseño son aspectos que deben ser coordinados y gestionados para que el tiempo de ejecución no se alargue. La única categoría que no abarca este flujograma es la de cambios en asientos, ventanas, luces y demás que no afecten a la integridad de la estructura ya que ésta no se considera un diseño puesto que son cambios mínimos dentro de la carrocería.

Se observa, que el proceso de diseño finaliza en el gerente de planta quien representa la línea de producción. Este aspecto es de suma importancia ya que refleja el inicio de las actividades productivas; es decir, cualquier retraso en las entradas de diseño alargan el inicio de la línea de producción. La gestión de actividades actual de la compañía no considera este tiempo previo de diseño.

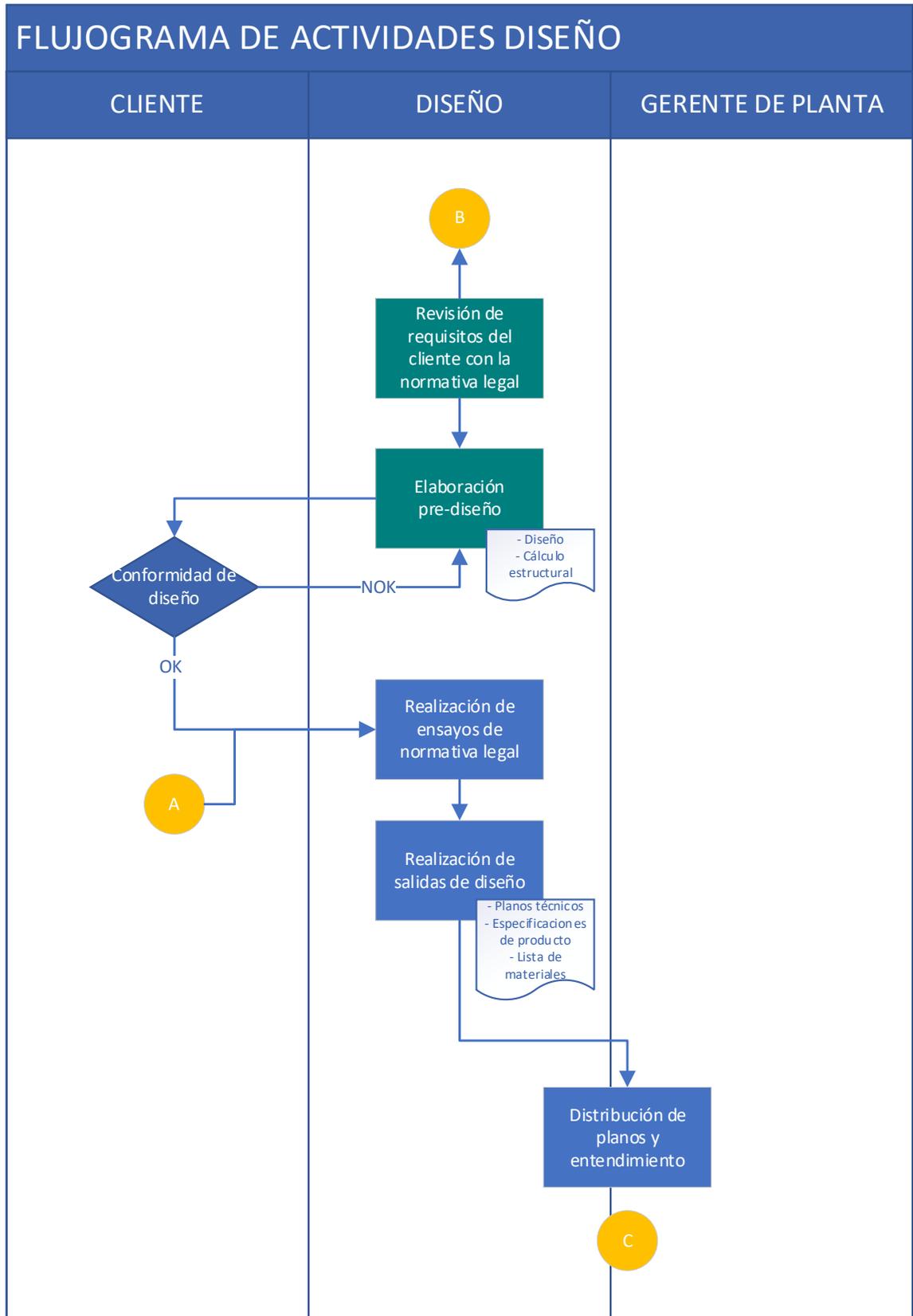


Figura 4-10: Flujo de actividades en DISEÑO.

4.4 Planificación de actividades

En esta sección se muestra los aspectos que se consideran para programar la construcción de una carrocería, se identifica los tiempos que se consideran y las actividades que se gestionan en Carrocerías Jácome. El análisis muestra la metodología actual que usa la compañía.

4.4.1 Tiempos de proceso

El análisis de los registros de producción de la compañía determina los tiempos de proceso de la línea de producción en la Tabla 4-3 que se consideran dentro del plan de actividades para la construcción de una carrocería.

Además, este análisis recoge los registros históricos de la compañía y los valores definidos internamente para los procesos no necesariamente productivos en la Tabla 4-3, aunque la compañía no los considere para su plan de actividades.

Se identifica que la promesa de entrega de Carrocerías Jácome en cuanto a tiempo es de 60 días laborales que corren a partir de la fecha de firma del contrato; en este tiempo la compañía asegura la culminación de todos los trabajos e incluso la salida de la planta de producción con la entrega hacia el cliente. La fuente de información en este caso es el gerente de planta quien realiza el plan de actividades para toda carrocería que se programe.

En la Tabla 4-3 se hace la clasificación de procesos de acuerdo a su característica: productivo cuando el proceso transforma al producto, no productivo cuando el proceso no transforma el producto, pero cuyas actividades se requieren como soporte durante la transformación, productivo externo cuando son procesos de transformación que se realizan externamente por lo general para accesorios de la carrocería. En la columna de observación se identifica de acuerdo a la metodología de gestión de actividades actual los procesos que ingresan y no al plan correspondiendo a procesos programados y no programados respectivamente.

Tabla 4-3: TIEMPOS DE PROCESO CARROCERÍAS JÁCOME.

Proceso	Característica	Tiempo (h)	Tiempo (días)	Observación
Recepción de chasis	Productivo	4,06	0,51	Ingresa al plan
Armado de estructura	Productivo	87,81	10,98	Ingresa al plan
Forrado exterior	Productivo	101,90	12,74	Ingresa al plan
Forrado interior	Productivo	44,40	5,55	Ingresa al plan
Preparación de pintura	Productivo	24,10	3,01	Ingresa al plan
Pintura	Productivo	84,55	10,57	Ingresa al plan
Acabados finales	Productivo	89,82	11,23	Ingresa al plan
Control de calidad	No productivo	16,00	2,00	Ingresa al plan
Entrega al cliente	No productivo	4	0,50	No ingresa al plan
Preparación de partes y piezas (incluye todos los componentes)	Productivo	47,9	5,99	Ingresa al plan
Procesos tercerizados (incluye todos los semielaborados)	Productivo externo	296	37,00	No ingresa al plan
Ventas (desde solicitud de carrocería hasta firma de contrato)	No productivo	80	10,00	No ingresa al plan
Compras generales (gestión y entrega proveedores)	No productivo	32	4,00	No ingresa al plan
Compras a procesos tercerizados (solo gestión)	No productivo	48	6,00	No ingresa al plan
Diseño	No productivo	64	8,00	No ingresa al plan

4.4.2 Programación de trabajos

La gestión de actividades en Carrocerías Jácome se realiza a partir del lanzamiento del plan de actividades que se define como la descripción de procesos, fechas de inicio y fin, responsables y características de la unidad a producir. En el plan, se obtiene un cronograma el cual guía la producción de la carrocería y es la base para la toma de decisiones, el gerente de planta es el responsable del levantamiento del plan de actividades que tiene las entradas que se muestran en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: ENTRADAS PLAN DE ACTIVIDADES.

Variable	Valor	Unidad
Horizonte de planeación	60	días
Gestión de actividades	por proyecto	-
Inicio plan	firma de contrato	-
Tiempos de proceso	ver tabla 4-6	días
# Personas	11	operarios
Estructura	2	operarios
Partes y Piezas	1	operarios
Forrados	2	operarios
Acabados	2	operarios
Preparacion y Pintura	2	operarios
Fibra de Vidrio	1	operarios
Electricista	1	operarios
# Turnos	1	turnos
Arranque turno	8:00	AM
Indicador	avance de obra	%

La programación de trabajos se refleja en el plan de actividades que se difunde a todo el personal de Carrocerías Jácome, en esta investigación se escoge para el análisis una carrocería del tipo interprovincial el cual es el producto clave de Carrocerías Jácome, se toma en cuenta los requisitos de cliente debido a la complejidad del proyecto ya que involucran todos los procesos productivos y no productivos de la compañía. En el Anexo 04 se muestra los requisitos para la carrocería.

En la Tabla 4-5 se muestra el plan de actividades que corresponde al cronograma de procesos del Anexo 5 del proyecto en análisis, se identifica que la gestión de actividades y tiempos se realiza de forma empírica y en su mayoría está determinada

por la experiencia del gerente de planta y responsables de grupo. El plan de actividades cuenta con las fechas de inicio y fin de los procesos que representan las metas a cumplir y en el mismo formato se escriben las fechas de inicio y fin reales que permite hacer el control del avance de obra.

Tabla 4-5: PLAN DE ACTIVIDADES PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL.

#	Proceso	PLAN		
		Fecha Inicio	Fecha Fin Estimada	Tiempo (días laborables)
1	Recepción de chasis	6/8/2019	6/8/2019	1
2	Armado de estructura	7/8/2019	21/8/2019	11
3	Forrado exterior	22/8/2019	9/9/2019	13
4	Forrado interior	10/9/2019	24/9/2019	11
5	Preparación de pintura	25/9/2019	30/9/2019	4
6	Pintura	30/9/2019	4/10/2019	5
7	Acabados finales	7/10/2019	21/10/2019	11
8	Control de calidad	22/10/2019	25/10/2019	4
9	Entrega al cliente	28/10/2019	28/10/2019	1

En el cronograma del Anexo 05 se definen las actividades que corresponden a cada proceso y se detallan los días para cada una, se indica el comienzo y final de los procesos de acuerdo las fechas y duración que se establece en el plan de actividades. Para el seguimiento de las actividades de los procesos cada responsable de grupo cuenta con los diagramas de precedencia en los que se describe el tiempo de duración por actividad y de acuerdo a la experiencia de la compañía se tiene definido el orden lógico de ejecución que asegure el cumplimiento de la fecha fin del plan de actividades principal.

4.4.3 Indicadores de control de actividades

En Carrocerías Jácome se define cuatro indicadores de seguimiento relacionados a la gestión de actividades de proyecto, el primero enfocado a las actividades de diseño y los otros tres hacia las actividades de proceso y de apoyo.

La eficiencia de diseño se mide en base al número de repeticiones que el diseñador ejecuta antes de la aprobación por parte del cliente; en este caso, el valor ideal es que

exista una sola repetición y el diseño se apruebe. En otro aspecto, para el seguimiento general de actividades del proyecto se tiene, el indicador avance de obra que muestra en valor porcentual cuántas actividades programadas se han cumplido.

El indicador cumplimiento de actividades permite evaluar atrasos en la ejecución del proyecto ya que mide en valor porcentual a una fecha determinada si las actividades programadas se han ejecutado a tiempo. Finalmente, el indicador cumplimiento proyecto es el que muestra de forma global si la carrocería se entrega a tiempo equivalente a 100%, se entrega con retraso (>100%) o anticipación (<100%).

En la Tabla 4-6 se indica la descripción de los indicadores con la fórmula y meta para cada uno.

Tabla 4-6: INDICADORES DE PROYECTO – GESTION ACTUAL.

Indicador	Descripción	Fórmula	Meta
Eficiencia Diseño	Determina el número de repeticiones del proceso para un mismo producto	100% / número de repeticiones	100%
Avance de obra	Determina el porcentaje de avance del plan de acuerdo a la finalización de actividades	Actividades cumplidas / actividades programadas total	(100% * actividades programadas a la fecha) / actividades programadas total
Cumplimiento actividades	Determina el porcentaje de actividades cumplidas a una fecha fin en específico	Actividades cumplidas a la fecha fin i / Actividades programadas a la fecha fin i	100%
Cumplimiento de proyecto	Determina el cumplimiento de la fecha de entrega de un proyecto	Tiempo de entrega real / tiempo de entrega ofrecido	100%

La Figura 4-11 se obtiene con los datos históricos de los 14 proyectos o carrocerías que se producen en la compañía durante el año 2019, para cada proyecto se recoge la duración programada que en este caso es la promesa de entrega de Carrocerías Jácome de 60 días laborales y la duración o tiempo de entrega real. Se observa que 5 proyectos

se entregan en el tiempo pactado, 1 proyecto se entrega de forma anticipada y 8 proyectos tienen retrasos siendo estos los de mayor ocurrencia por lo que se deduce que la gestión de actividades actual tiene deficiencias.

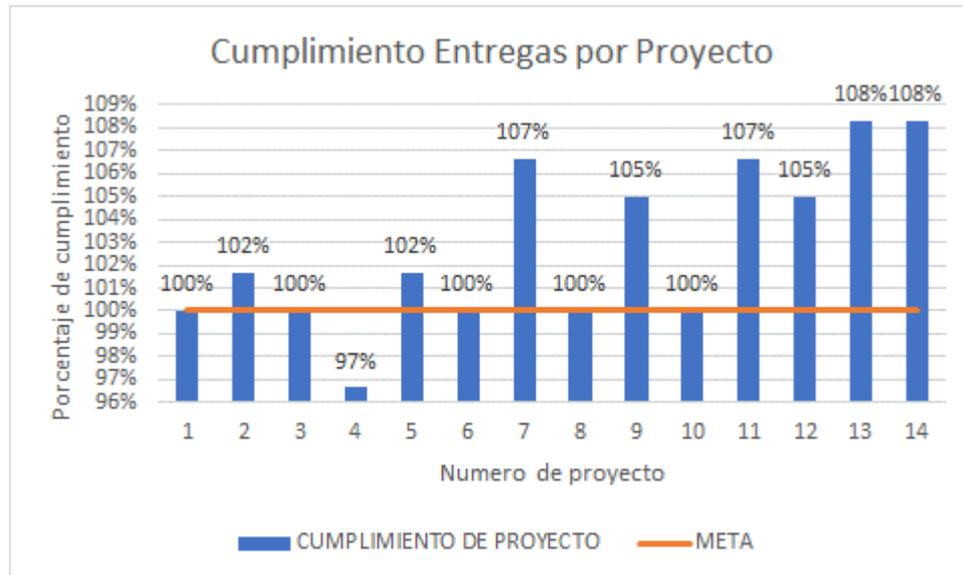


Figura 4-11: Cumplimiento de proyecto para carrocerías vendidas en 2019.

Para la evaluación de los indicadores de proyecto se escoge la orden de producción CJ-OP09-MV con un cumplimiento de proyecto de 105%; es decir, un tiempo de entrega real de 63 días laborales ya que de acuerdo al gerente de planta de Carrocerías Jácome es un proyecto representativo al abarcar todas las áreas de gestión y los procesos de la línea de producción.

El control de fechas reales se llena en un Excel de seguimiento de acuerdo al formato que se muestra en la Tabla 4-7, el gerente de planta registra las fechas de inicio y fin reales. Además, calcula el tiempo real en días laborales que toma la ejecución de cada etapa y los compara contra el tiempo plan.

Posteriormente, en la Tabla 4-8 se calcula los indicadores de seguimiento de proyecto a partir del registro de fechas reales. En este caso, se requiere la fecha de finalización programada y real con las que se obtiene el avance de obra y el cumplimiento de actividades.

Tabla 4-7: CONTROL FECHAS REALES – GESTION ACTUAL.

#	Proceso	REAL			PLAN
		Fecha Inicio	Fecha Fin	Tiempo Real (días)	Tiempo Plan (días)
1	Recepción de chasis	6/8/2019	6/8/2019	1	1
2	Armado de estructura	7/8/2019	21/8/2019	11	11
3	Forrado exterior	22/8/2019	11/9/2019	15	13
4	Forrado interior	12/9/2019	27/9/2019	12	11
5	Preparación de pintura	30/9/2019	3/10/2019	4	4
6	Pintura	3/10/2019	9/10/2019	5	5
7	Acabados finales	10/10/2019	28/10/2010	13	11
8	Control de calidad	29/10/2010	30/10/2019	2	4
9	Entrega al cliente	31/10/2019	31/10/2019	1	1

A continuación, se muestra el ejemplo de cálculo para la actividad #3 con fecha fin programada 09/09/2019 y fecha fin real 11/09/2019. En cuanto al indicador avance de obra se observa en la Tabla 4-13 que hasta la fecha fin programada 09/09/2019 se tienen cumplidas solamente las actividades #1 y #2 de un total de 9 actividades programadas por lo cual se usa la ecuación 4-1, y se obtiene:

$$Avance\ obra = \frac{2\ actividades\ cumplidas}{9\ actividades\ programadas\ global} = 22\% \quad Ec.\ (4 - 1)$$

En cuanto al indicador cumplimiento actividades se observa en la Tabla 4-13 que hasta la fecha fin programada 09/09/2019 se tienen cumplidas solamente las actividades #1 y #2 de un total de 3 actividades programadas hasta esa fecha por lo cual se usa la ecuación 4-2, y se obtiene:

$$Cumplimiento\ #3 = \frac{2\ actividades\ cumplidas}{3\ actividades\ programadas} = 67\% \quad Ec.\ (4 - 2)$$

La Figura 4-12 muestra el seguimiento visual de los indicadores de proyecto.

Tabla 4-8: CÁLCULO INDICADORES – GESTION ACTUAL.

Actividad	Fecha fin programada	Fecha fin real	Avance Obra	Cumplimiento actividades
1	6/8/2019	6/8/2019	11%	100%
2	21/8/2019	21/8/2019	22%	100%
3	9/9/2019	11/9/2019	22%	67%
4	24/9/2019	27/9/2019	33%	75%
5	30/9/2019	3/10/2019	44%	80%
6	4/10/2019	9/10/2019	56%	83%
7	21/10/2019	28/10/2010	67%	86%
8	23/10/2019	30/10/2019	78%	88%
9	28/10/2019	31/10/2019	89%	89%

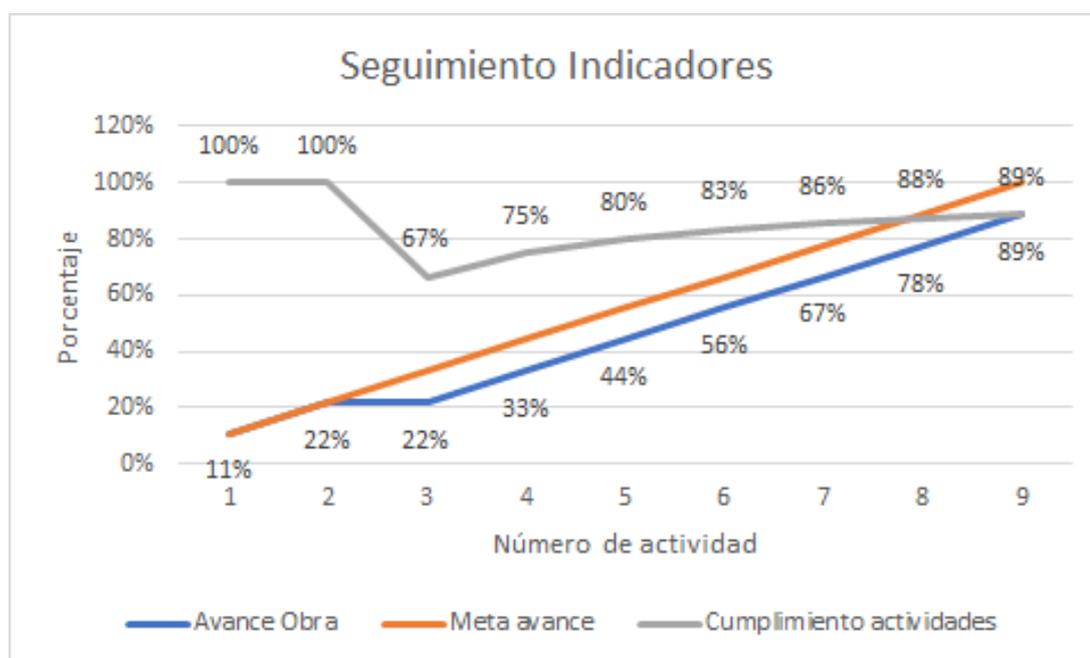


Figura 4-12: Seguimiento proyecto bus interprovincial.

4.5 Análisis de actividades

En esta sección se propone la integración del método de la cadena crítica como herramienta en la gestión de proyectos de Carrocerías Jácome. Se establece un nuevo flujo de proyectos, se identifican los tipos de actividad de proceso o de proyecto y se menciona las relaciones entre ambas y finalmente se calcula la ruta crítica del proyecto de elaboración de carrocerías.

4.5.1 Flujo de proyecto propuesto

La integración del método de la cadena crítica en Carrocerías Jácome inicia con la definición de un nuevo flujo de proyecto que involucre a todas las áreas que intervienen durante la elaboración de una carrocería.

Se identifica como primer hito del proyecto la realización del pre-diseño debido a que una vez que se tenga el contacto con el cliente, esta actividad es de gran importancia para alcanzar un pedido en firme.

El contacto con el cliente no se toma en cuenta en el flujo de proyecto ya que son actividades propias del proceso de ventas y dependen de la dinámica de las estrategias de marketing en conjunto con el panorama económico del país, en este contexto, al tener razones exógenas se desprecia para el nuevo flujo de proyecto.

Se considera en el flujo de proyecto propuesto de la Figura 4-13 la separación de las actividades de diseño ya que en cadena crítica se recomienda eliminar las dependencias de actividades y tanto el pre-diseño como diseño final ocurren en momentos diferentes durante la ejecución del proyecto de elaboración de carrocerías.

De la misma forma se separan las actividades de gestión de compra en compras generales y compras a tercerizados ya que a pesar de tener una misma entrada que es la elaboración del contrato con el cliente externo ambas actividades generan salidas con tiempos y entregables diferentes.

Finalmente, en la línea de producción se identifican los puntos en los que ingresan las actividades de apoyo y se culmina el flujo de proyecto con el control de calidad y entrega al cliente.

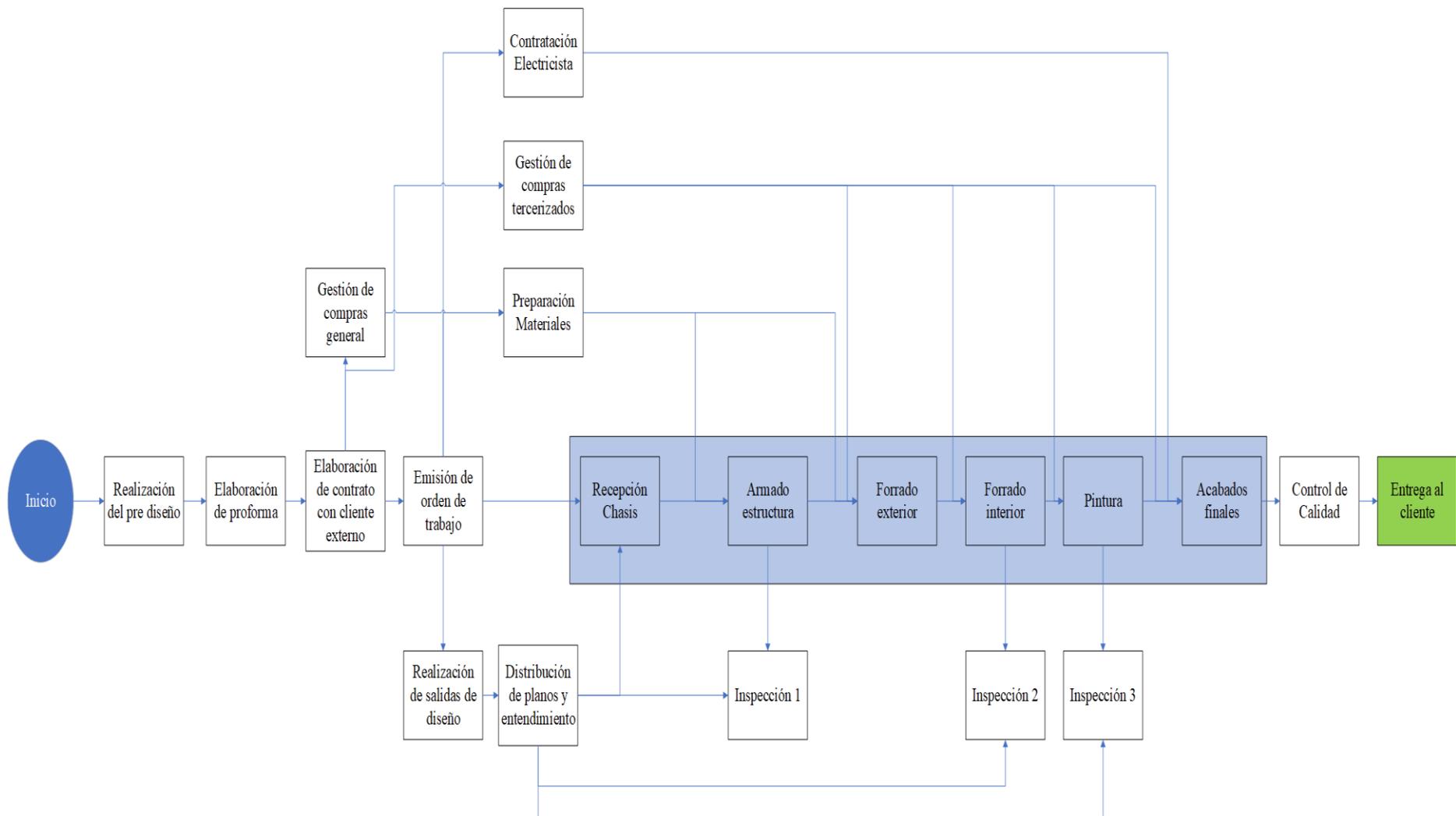


Figura 4-13: Flujo de proyecto propuesto.

4.5.2 Integración proceso y proyecto

De acuerdo al análisis previo, se observa que el tipo de modelo de negocio de Carrocerías Jácome es trabajar bajo pedido o mto. En este contexto, el tiempo de entrega hacia el cliente debe ser el mínimo posible para que la oferta de valor de la compañía sea atractiva.

En este tipo de enfoques y de acuerdo al producto que se oferta, la investigación identifica que existe gestión de actividades de ambientes de manufactura y ambientes de proyectos por lo que se define en la Tabla 4-9 cinco características claves que se toman en cuenta para la integración de dichos ambientes.

Especialmente, se observa el nivel de incertidumbre para el cálculo de tiempos de operación. Cuando se opera en ambientes de manufactura dentro de Carrocerías Jácome se tienen definidos los tiempos de operación por lo que el nivel de incertidumbre es bajo. Cuando se opera en ambientes de proyectos los tiempos de las tareas dependen en muchos casos de la estimación por experiencia de los responsables y/o tercerizados, bajo este escenario el nivel de incertidumbre es medio ya que se pueden presentar tiempos muy altos o muy bajos que finalizan en incumplimientos de los entregables.

Tabla 4-9: INTEGRACIÓN DE CARACTERÍSTICAS.

Característica Clave	Manufactura	Proyectos
Entregar una obra tan rápido como sea posible	Tiempos de respuesta de la línea de producción	Tiempo de entrega de acuerdo a cadena crítica
Tiempo promedio de operaciones	Relativamente cortos	Relativamente largos
Recursos planeados	Máquinas y equipos	Operarios especializados
Nivel de incertidumbre	Bajo: tiempos de operación definidos	Medio: riesgo en la estimación de tiempos las tareas
Enfoque de la gestión de actividades	Adecuada utilización de los recursos internos	Entregar cada obra tan rápido como sea posible cumpliendo especificaciones y requisitos del cliente

4.5.3 Tipos de actividad

A partir del flujo de proyectos propuesto de la Figura 4-13 se detallan las actividades que se consideran y se realiza una evaluación crítica del tipo de ambiente al que pertenecen, siendo de manufactura o de proyectos.

Dentro de cada actividad se evalúan las características clave que se definen en la Tabla 4-9 y de acuerdo al nivel de coincidencia se clasifica el tipo de actividad. En la Tabla 4-10 se indica la clasificación en la que se tiene 10 actividades dentro del ambiente de proyectos y 9 actividades dentro del ambiente de manufactura.

Se clasifican actividades de proyectos aquellas que son únicas para cada carrocería y el nivel de incertidumbre en la estimación de tiempos es medio; se clasifican actividades de manufactura aquellas que son operaciones estándar de trabajo principalmente concentradas en la línea de producción con nivel de incertidumbre bajo para la estimación de tiempos.

Tabla 4-10: CLASIFICACION ACTIVIDADES.

Actividad	Tipo	Observación
Elaboración de proforma	Proyecto	Única para cada carrocería
Realización de pre diseño	Proyecto	De acuerdo a requisitos de cliente
Elaboración de contrato con cliente externo	Proyecto	Único para cada carrocería
Gestión de compras general	Proyecto	Puede agrupar varias necesidades de carrocerías
Emisión de orden de trabajo	Proyecto	Única para cada carrocería
Realización de salidas de diseño	Proyecto	Única para cada carrocería
Distribución de planos y entendimiento	Proyecto	Único para cada carrocería
Preparación de materiales	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Gestión de compras tercerizados	Proyecto	De acuerdo a requisitos de cliente
Contratación personal externo	Proyecto	Puede agrupar varias necesidades de carrocerías
Recepción chasis	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Armado estructura	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Forrado exterior	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Forrado interior	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Pintura	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Acabados finales	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Inspecciones de proceso	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Control de calidad	Manufactura	Operaciones estandar de trabajo
Entrega al cliente	Proyecto	De acuerdo a requisitos de cliente

4.5.4 Diagrama de nodos y ruta crítica

La TOC se basa en que todo sistema tiene al menos una restricción que define el resultado global y marca el ritmo del resto de operaciones. En el caso de proyectos, la restricción se define por la ruta crítica que representa la secuencia de actividades dependientes de la cual su duración resulta en el tiempo de entrega del proyecto, cualquier atraso o ganancia en la ruta crítica impactará en el resultado global del proyecto.

A partir de ello, se identifica las actividades del flujo de proyectos propuesto y los precedentes en la Tabla 4-11 con su respectiva duración en días laborales y los recursos que se requieren para su ejecución. En este caso no se consideran las inspecciones de calidad ya que el tiempo de operación se considera parte de los procesos de la línea de producción.

Tabla 4-11: TABLA DE PRECEDENTES.

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo (días)	Recurso
Elaboración de pre diseño	A	-	3	Diseño
Elaboración de proforma	B	A	1	Ventas
Elaboración de contrato	C	B	1	Ventas
Gestión de compra tercerizados	D	C	5	Compras
Gestión de compra generales	E	C	4	Compras
Emisión de orden de trabajo	F	C	1	Ventas
Preparación de materiales	G	E	3	Partes y piezas
Realización de salidas de diseño	H	F	7	Diseño
Distribución de planos y entendimiento	I	H	1	Diseño
Producción y entrega de fibra exterior	J	D	5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de fibra interior	K	D	10	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de ventanas	L	D	15	Tercerizado Ventanas
Producción y entrega de asientos	M	D	7	Tercerizado Asientos
Contratación electrico	N	F	6	Recursos Humanos
Recepción chasis	O	F	1	Estructura
Armado de estructura	P	G, I	11	Estructura
Forado exterior	Q	G, J	13	Forrados
Forado interior	R	K	11	Forrados
Pintura	S	L	8	Preparación y pintura
Acabados finales	T	M, N	11	Acabados
Control de calidad	U	T	4	Calidad
Entrega al cliente	V	U	1	Gerente de planta

En la Figura 4-15 se determina la ruta crítica del proyecto que abarca las siguientes actividades: A, B, C, F, H, I, P, Q, R, S, T, U, V con un tiempo de duración total de 73 días laborales.

Para el cálculo de holguras se consideran los tiempos de inicio más temprano (ES) y más tardío (LS), así como, los tiempos de finalización más temprana (EF) y más tardía (LF) que se organizan de acuerdo a la Figura 4-14.

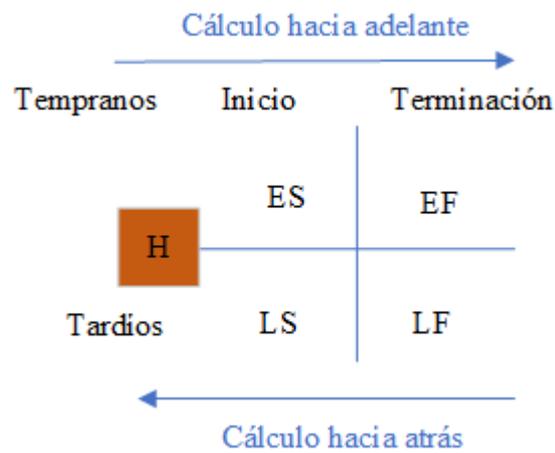


Figura 4-14: Forma ubicación tiempos en ruta crítica.

Primero, se calcula la terminación más temprana del proyecto de izquierda a derecha o cálculo hacia adelante con la ecuación 4-3.

$$EF_i = EF_{i-1} + Duración actividad i \quad \text{Ec. (4 - 3)}$$

Cuando dos o más actividades confluyan a otra se debe tomar el EF_{i-1} con el mayor valor. De esta manera se obtiene el Anexo 6 una vez que se realiza el cálculo hacia delante de todos los nodos del proyecto.

Segundo, se calcula el inicio más tardío del proyecto de derecha a izquierda o cálculo hacia atrás con la ecuación 4-4.

$$LS_i = LS_{i-1} + Duración actividad i \quad \text{Ec. (4 - 4)}$$

Cuando dos o más actividades confluyan a otra se debe tomar el LS_{i-1} con el menor valor. De esta manera se obtiene el Anexo 7 una vez que se realiza el cálculo hacia atrás de todos los nodos del proyecto.

Tercero, se calcula las holguras de cada nodo con la ecuación 4-5.

$$H = LS - ES \text{ ó } LF - EF \quad \text{Ec. (4 - 5)}$$

Finalmente, se define la ruta crítica en la Figura 4-15 de acuerdo a los criterios de decisión. Nodos con holguras iguales a cero se consideran como parte de la ruta crítica, nodos con holguras mayores a cero se consideran actividades no críticas. La Tabla 4-12 muestra las actividades que son ruta crítica.

Tabla 4-12: ACTIVIDADES RUTA CRÍTICA.

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo (días)	Recurso
Elaboración de pre diseño	A	-	3	Diseño
Elaboración de proforma	B	A	1	Ventas
Elaboración de contrato	C	B	1	Ventas
Emisión de orden de trabajo	F	C	1	Ventas
Realización de salidas de diseño	H	F	7	Diseño
Distribución de planos y entendimiento	I	H	1	Diseño
Armado de estructura	P	G, I	11	Estructura
Forrado exterior	Q	G, J	13	Forrados
Forrado interior	R	K	11	Forrados
Pintura	S	L	8	Preparación y pintura
Acabados finales	T	M, N	11	Acabados
Control de calidad	U	T	4	Calidad
Entrega al cliente	V	U	1	Gerente de planta

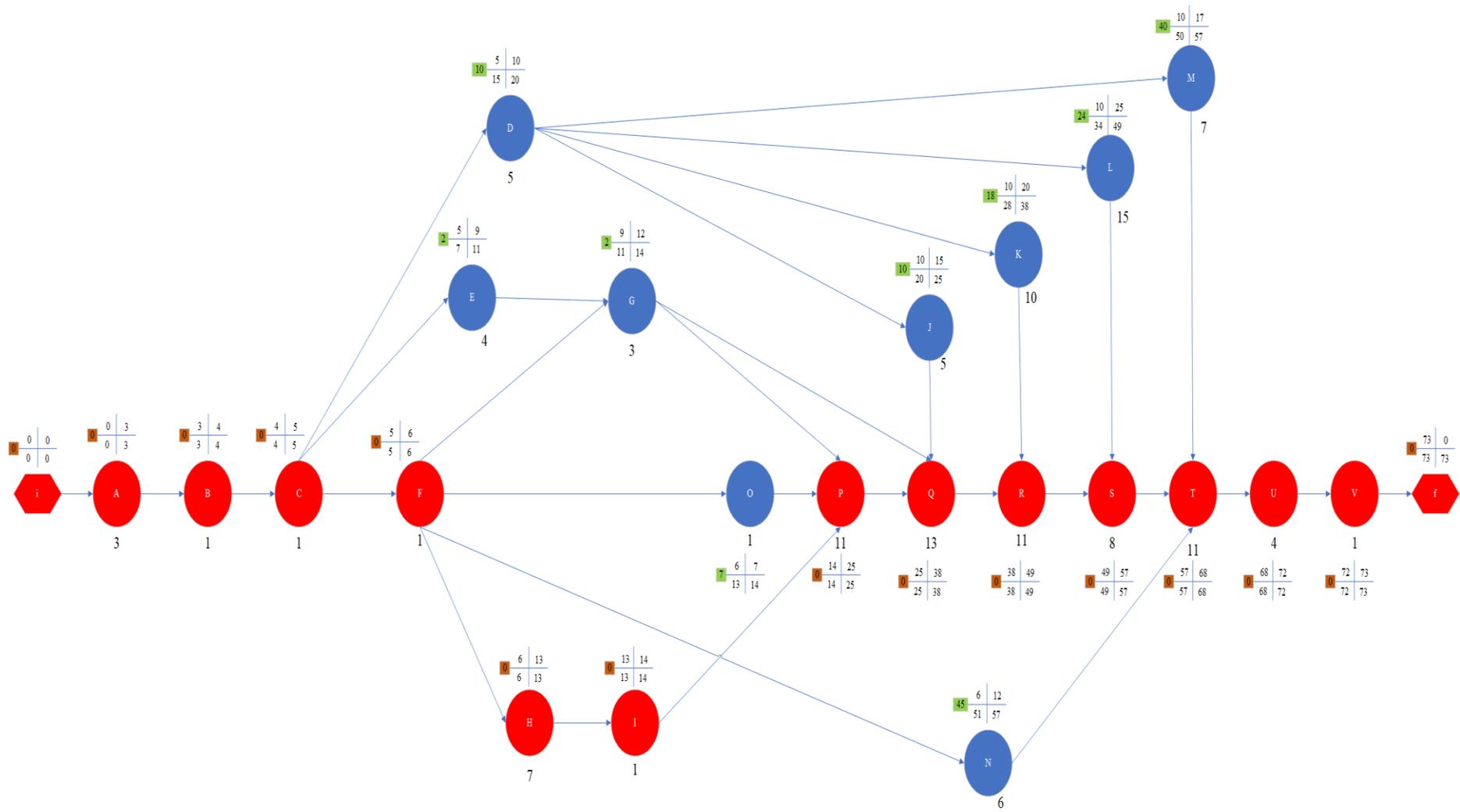


Figura 4-15: Ruta Crítica.

4.6 Gestión de proyectos con TOC

En esta sección se define la cadena crítica del proyecto de elaboración de carrocerías y se establecen los amortiguadores que permiten contar con el nuevo método de seguimiento de actividades para la gestión de proyectos de Carrocerías Jácome. Se propone el uso de un software de proyectos y se calcula el nuevo tiempo de entrega para la elaboración de carrocerías.

4.6.1 Definir el proyecto

El presente trabajo de investigación propone la estructura de desglose de trabajo (EDT) de la Figura 4-16 en el que se identifican los recursos que intervienen en el proyecto de elaboración de una carrocería de tipo interprovincial y los entregables que se obtienen en cada uno.

Esta herramienta es crucial para todo tipo de proyecto ya que representa la línea base de ejecución del proyecto. Además, se relaciona a la gestión de proyectos con cadena crítica pues esta metodología considera el tiempo de ejecución de las tareas y los recursos que intervienen.

Se identifican 7 áreas que intervienen en el proyecto desde la obtención de un contrato hasta la entrega final al cliente; siendo estas, ventas, dirección de proyectos, diseño, compras, carrocería o línea de producción, equipos de apoyo y pruebas o evaluación. En cada área se cuenta con un solo recurso que ejecuta las actividades para cada entregable y en el caso de equipos de apoyo entregable mantenimiento se menciona en la EDT, pero no se considera en la cadena crítica ya que es una actividad que aparece solo en caso de imprevistos en la línea de producción que se considera como ambiente de manufactura.

En el caso de la dirección de proyectos el área tiene como recurso al gerente de planta quien realiza el plan de actividades y en la línea de producción se observan 7 procesos con entregables en cada uno. Sin embargo, para fines del levantamiento de la cadena crítica, preparación de pintura y pintura se agrupan en un solo recurso.

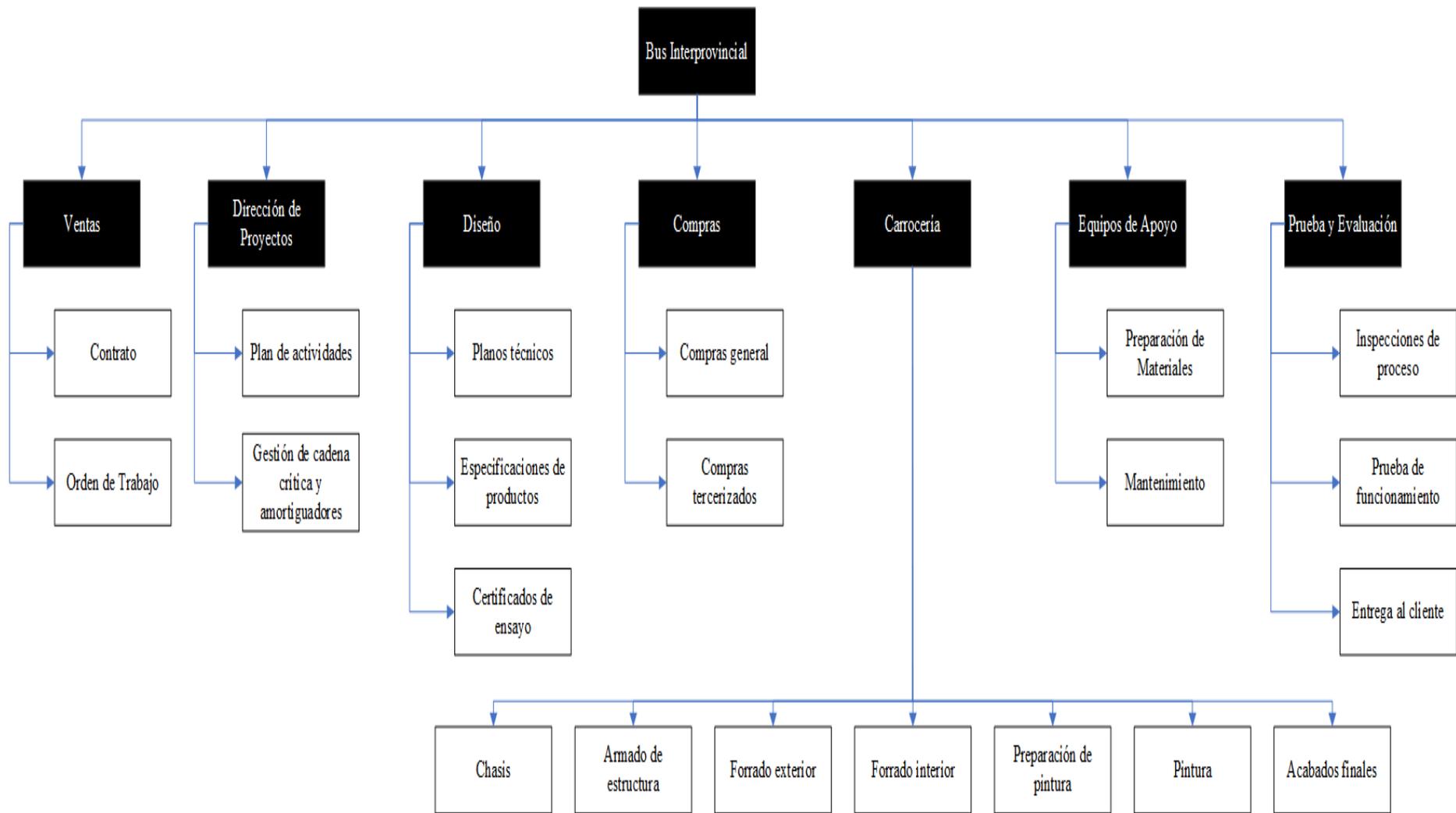


Figura 4-16: Estructura de desglose de trabajo (EDT).

4.6.2 Cadena crítica

La cadena crítica a diferencia de la ruta crítica considera la existencia de conflictos de recursos y mediante la aplicación de los 5 pasos de enfoque de proyectos llega a una solución viable para la gestión de las actividades.

1. Identificar la restricción

Para identificar la cadena crítica se observa en el diagrama de nodos y tabla de precedentes la existencia de conflictos de recursos que de acuerdo a la TOC pueden ocasionar el fenómeno de la multitarea. En este contexto, en la Tabla 4-13 se mencionan los conflictos que se encuentran para este proyecto.

En ruta crítica las actividades de compras generales y tercerizados inician al mismo tiempo; sin embargo, al existir un solo recurso esto va en contra de los conceptos de cadena crítica. Ocurre lo mismo para el caso de las actividades del proceso tercerizado de fabricación de fibras.

Tabla 4-13: CONFLICTOS DE RECURSOS.

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo	Recurso
Gestión de compra tercerizados	D	C	5	Compras
Gestión de compra generales	E	C	4	Compras
Producción y entrega de fibra exterior	J	D	5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de fibra interior	K	D	10	Tercerizado Fibras

En la Tabla 4-14 se indica cómo se cambian los precedentes para solucionar este conflicto de necesidad de recursos. Para la ejecución de las compras se propone primero la realización de compras generales y luego las compras a tercerizados. En cuando a la fabricación de fibras se propone seguir la secuencia de proceso, primero se entrega las fibras exteriores y posteriormente las fibras interiores.

Con estos cambios, se obtiene un nuevo diagrama de nodos en el que se calcula las nuevas holguras y se verifica si existe cambios en la ruta crítica. En la Figura 4-17 se muestra la ruta crítica que mantiene las mismas actividades y los nuevos valores de holgura para actividades no críticas.

Tabla 4-14: ELIMINAR CONFLICTOS Y MULTITAREA.

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo	Recurso
Gestión de compra generales	E	C	4	Compras
Gestión de compra tercerizados	D	E	5	Compras
Producción y entrega de fibra exterior	J	D	5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de fibra interior	K	J	10	Tercerizado Fibras

En la Figura 4-18 se muestra la cadena crítica inicial para el proyecto de elaboración de carrocerías. Se identifica con texto rojo las actividades que son cadena crítica y cada recurso se encuentra sombreado con un color específico. Finalmente, en la Tabla 4-15 se muestra la tabla de precedentes sin conflictos de recursos y con las actividades que pertenecen a la cadena crítica que se convierte en la restricción del proyecto.

Tabla 4-15: PRECEDENTES CON CADENA CRÍTICA.

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo	Recurso
Elaboración de pre diseño	A	-	3	Diseño
Elaboración de proforma	B	A	1	Ventas
Elaboración de contrato	C	B	1	Ventas
Gestión de compra tercerizados	D	E	5	Compras
Gestión de compra generales	E	C	4	Compras
Emisión de orden de trabajo	F	C	1	Ventas
Preparación de materiales	G	E	3	Partes y piezas
Realización de salidas de diseño	H	F	7	Diseño
Distribución de planos y entendimiento	I	H	1	Diseño
Producción y entrega de fibra exterior	J	D	5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de fibra interior	K	J	10	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de ventanas	L	D	15	Tercerizado Ventanas
Producción y entrega de asientos	M	D	7	Tercerizado Asientos
Contratación eléctrico	N	F	6	Recursos Humanos
Recepción chasis	O	F	1	Estructura
Armado de estructura	P	G, I	11	Estructura
Forado exterior	Q	G, J	13	Forrados
Forado interior	R	K	11	Forrados
Pintura	S	L	8	Preparación y pintura
Acabados finales	T	M, N	11	Acabados
Control de calidad	U	T	4	Calidad
Entrega al cliente	V	U	1	Gerente de planta

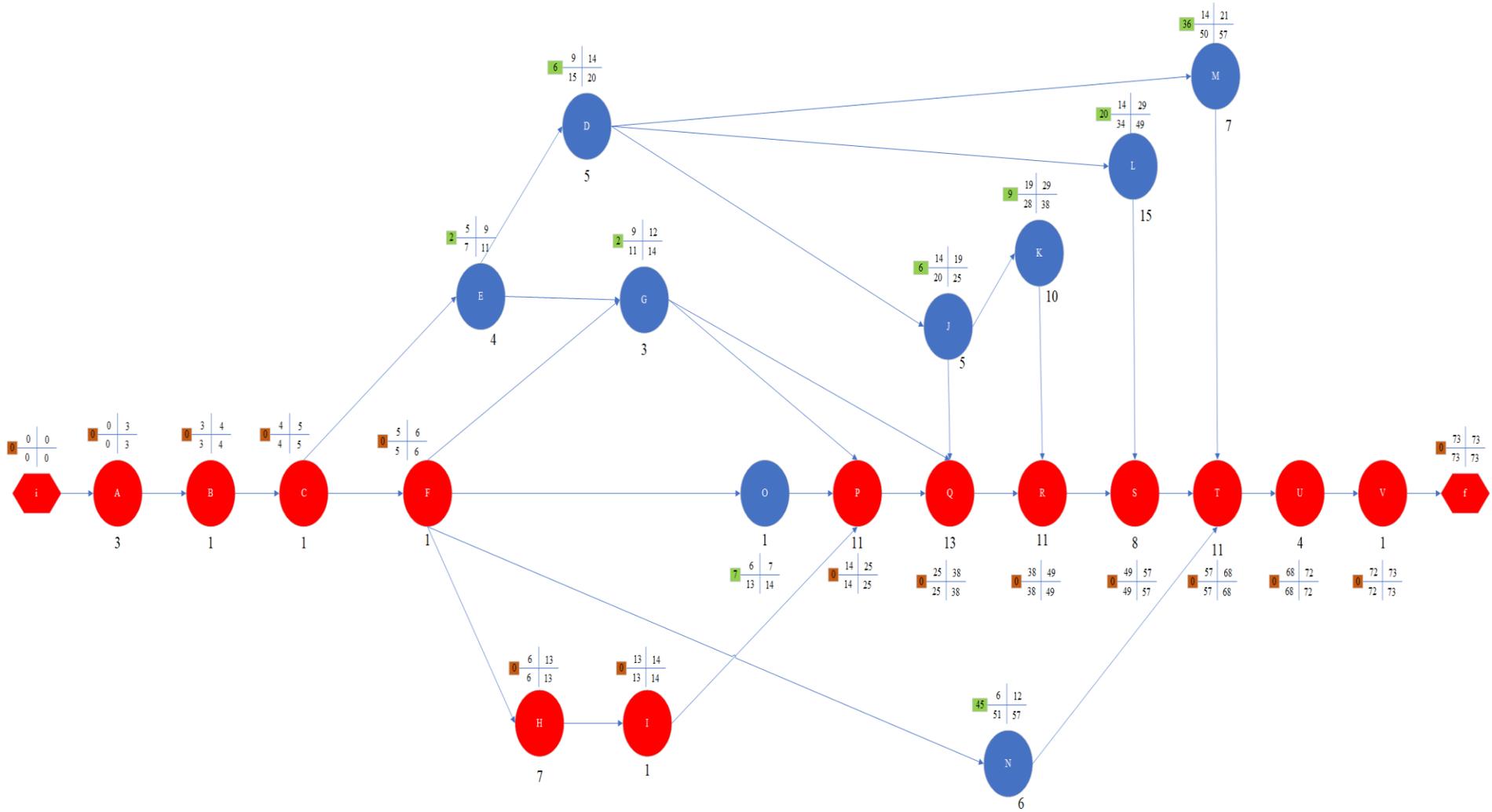


Figura 4-17: De ruta crítica a cadena crítica.

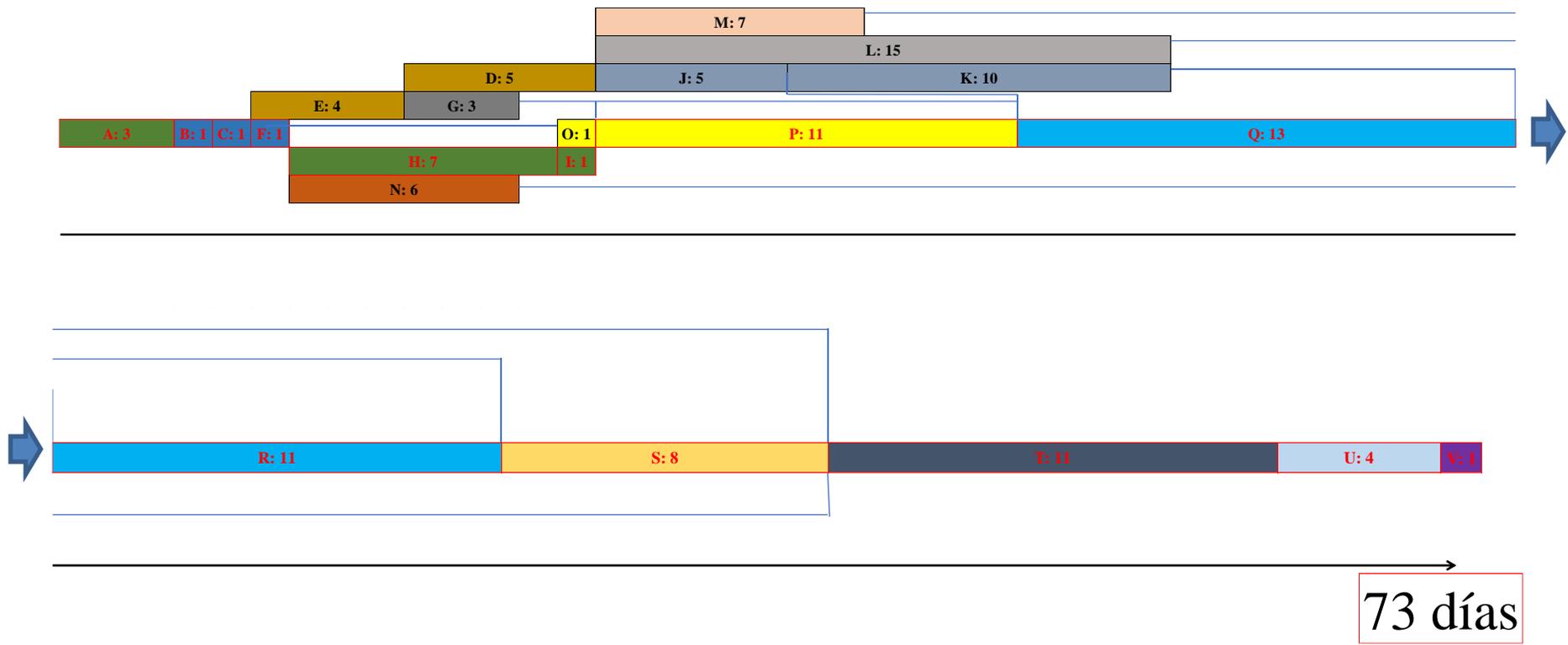


Figura 4-18: Análisis cadena crítica para elaboración de carrocerías.

4.6.3 Determinación de amortiguadores

Los amortiguadores en cadena crítica permiten absorber las variaciones de tiempo que existen durante la ejecución de un proyecto y aseguran que cualquier desviación en el cumplimiento de una actividad se gestione a tiempo.

2. Explotar la restricción

A. Remover la seguridad individual de cada tarea

De acuerdo a los conceptos de TOC en gestión de proyectos, se reduce la duración de las tareas al 50%. Se recopila la duración de las actividades con estimaciones normales, que se espera que tengan una alta probabilidad de éxito. Luego, se calcula la duración con probabilidad del 50% reduciendo estas estimaciones a la mitad en la Tabla 4-16. El Anexo 08 indica la recopilación de tiempos real y conceptos de TOC.

Tabla 4-16: REDUCCIÓN DE ESTIMACIONES AL 50%.

Actividad	Identificación	Tipo	Tiempo estimación normal	Tiempo estimación al 50%
Elaboración de pre diseño	A	Proyecto	3	1,5
Elaboración de proforma	B	Proyecto	1	0,5
Elaboración de contrato	C	Proyecto	1	0,5
Emisión de orden de trabajo	F	Proyecto	1	0,5
Realización de salidas de diseño	H	Proyecto	7	4,0
Distribución de planos y entendimiento	I	Proyecto	1	0,5
Armado de estructura	P	Manufactura	11	NA
Forrado exterior	Q	Manufactura	10	NA
Forrado interior	R	Manufactura	11	NA
Pintura	S	Manufactura	8	NA
Acabados finales	T	Manufactura	9	NA
Control de calidad	U	Manufactura	2	NA
Entrega al cliente	V	Proyecto	1	0,5

B. Agregar la seguridad al final de la fecha de entrega del proyecto

Se obtiene un total de 8,0 días laborales como la seguridad total que resulta de disminuir el tiempo de ejecución de las tareas de la cadena crítica a la mitad.

C. Cortar la seguridad a la mitad para tener el amortiguador

Finalmente, se reduce esta seguridad a la mitad teniendo un valor de 4 días como el amortiguador de proyecto. En la Figura 4-19 se muestra los cambios que se realiza en la cadena crítica.

Existe una reducción del tiempo de entrega de 10,0 días pues se inicia con 73 días y al aplicar conceptos de TOC se obtiene 63,0 días.

3. Subordinar todo lo demás a la restricción

A. Cortar el tiempo de las tareas de la cadena de alimentación

En la tabla 4-17 se calcula los nuevos tiempos de las tareas que se clasificaron en el tipo actividad de Proyecto y que son parte de las cadenas de alimentación.

Tabla 4-17: TIEMPOS CADENAS DE ALIMENTACIÓN AL 50%.

Actividad	Identificación	Tipo	Tiempo estimación normal	Tiempo estimación al 50%
Gestión de compra tercerizados	D	Proyecto	5	2,5
Gestión de compra generales	E	Proyecto	4	2
Preparación de materiales	G	Manufactura	2	NA
Producción y entrega de fibra exterior	J	Proyecto	5	2,5
Producción y entrega de fibra interior	K	Proyecto	10	5
Producción y entrega de ventanas	L	Proyecto	15	7,5
Producción y entrega de asientos	M	Proyecto	7	3,5
Contratación electrico	N	Proyecto	6	3
Recepción chasis	O	Manufactura	1	NA

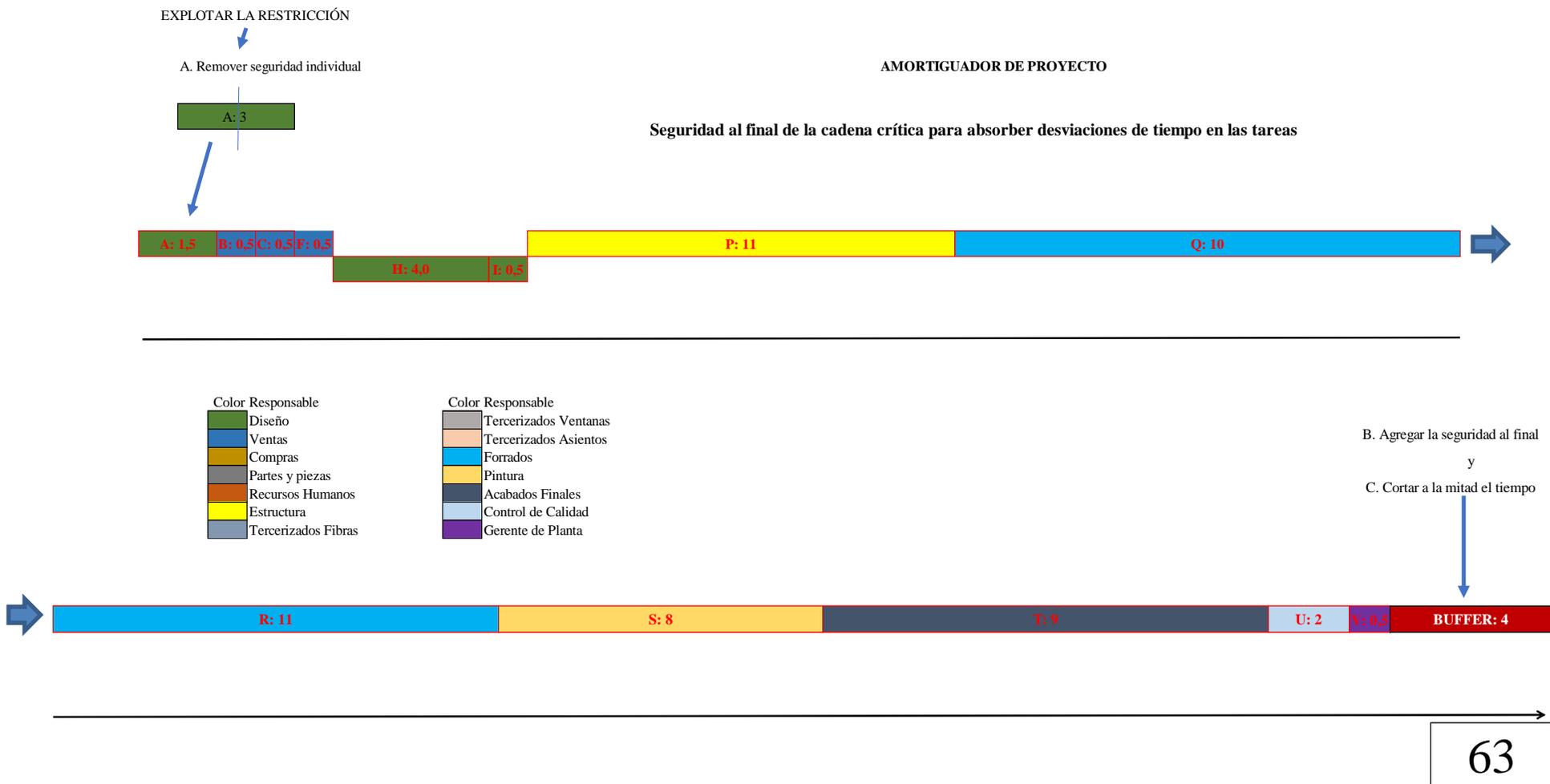


Figura 4-19: Amortiguador de proyecto.

B. Colocar un amortiguador entre las cadenas de alimentación y la cadena crítica

Se identifica un total de cinco cadenas de alimentación las cuales se indican en la Tabla 4-18 y se determina el amortiguador de alimentación como la mitad de la suma del tiempo de las tareas que conforman dicha cadena.

Tabla 4-18: AMORTIGUADOR DE ALIMENTACIÓN

Cadena de Alimentación	Tiempo total tareas	Buffer Alimentación
E - G	4	1
D - J - K	10	5
L	7,5	4
M	3,5	2
N	3	2

En la Figura 4-20 se muestra la cadena crítica que se propone en esta investigación para la gestión de tiempos y actividades de elaboración de una carrocería. La Tabla 4-19 indica los tiempos e identificaciones que se usa por recurso.

Tabla 4-19: ACTIVIDADES PARA PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA

Actividad	Identificación	Precedente	Tiempo	Recurso
Elaboración de pre diseño	A	-	1,5	Diseño
Elaboración de proforma	B	A	0,5	Ventas
Elaboración de contrato	C	B	0,5	Ventas
Gestión de compra tercerizados	D	E	2,5	Compras
Gestión de compra generales	E	C	2	Compras
Emisión de orden de trabajo	F	C	0,5	Ventas
Preparación de materiales	G	E	2	Partes y piezas
Realización de salidas de diseño	H	F	4	Diseño
Distribución de planos y entendimiento	I	H	0,5	Diseño
Producción y entrega de fibra exterior	J	D	2,5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de fibra interior	K	J	5	Tercerizado Fibras
Producción y entrega de ventanas	L	D	7,5	Tercerizado Ventanas
Producción y entrega de asientos	M	D	3,5	Tercerizado Asientos
Contratación electrico	N	F	3	Recursos Humanos
Recepción chasis	O	F	1	Estructura
Armado de estructura	P	G, I	11	Estructura
Forrado exterior	Q	G, J	10	Forrados
Forrado interior	R	K	11	Forrados
Pintura	S	L	8	Preparación y pintura
Acabados finales	T	M, N	9	Acabados
Control de calidad	U	T	2	Calidad
Entrega al cliente	V	U	0,5	Gerente de planta

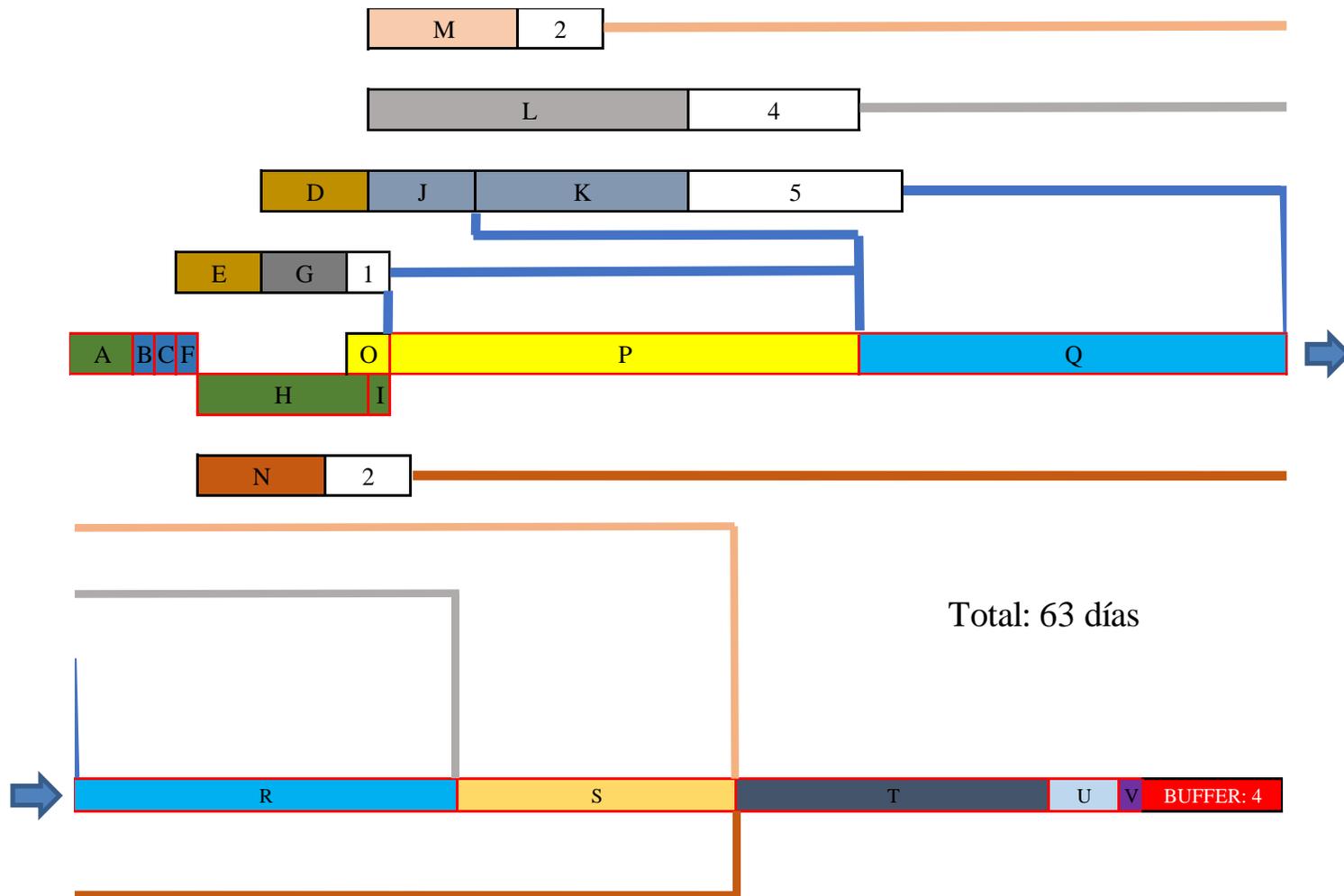


Figura 4-20: Cadena Crítica para Carrocerías Jácome.

4.6.4 Plan de proyecto

En detalle se propone realizar la gestión de tiempos de elaboración de carrocería mediante el cronograma que se muestra en el Anexo 09 el cual complementa al cuarto paso del enfoque TOC; es decir, **elegir la restricción**. En este sentido, se levanta el cronograma de acuerdo al análisis previo en el que se identifican los tiempos de ejecución más probables de las tareas.

4.7 Niveles de cumplimiento

En esta sección se realiza el seguimiento de las fechas de entrega de un proyecto de carrocería interprovincial una vez que se establece el método de cadena crítica en la gestión de tiempos de Carrocerías Jácome.

4.7.1 Integración Exepron

Exepron es un software de gestión de proyectos que permite la aplicación del enfoque de cadena crítica. La investigación propone el uso de esta herramienta debido a la eficacia que demuestra el software en los casos de éxito Exepron, (2020). Primero, se ingresa la cantidad de recursos con los que se dispone para la ejecución del proyecto en el Anexo 10. En este caso, se ingresan las áreas que se determina previamente de acuerdo a la responsabilidad en las tareas.

Segundo, se añade las tareas en la Figura 4-21 para la construcción del diagrama pert en la interfaz de usuario del software en la que se indican los siguientes datos: nombre de la tarea, número de tarea, duración en días y se asigna el recurso que realizará la tarea. Al mismo tiempo se debe ir vinculando tareas y el software automáticamente reconoce los predecesores y sucesores de acuerdo a estas conexiones.

Tercero, se revisa el resumen en el Anexo 10 que entrega el software en forma de tabla en el que se indica las duraciones planeadas por tarea, recursos asignados y el número de predecesores y sucesores de acuerdo a las conexiones hechas. En este punto se detectan errores y se los corrige si fuera necesario.

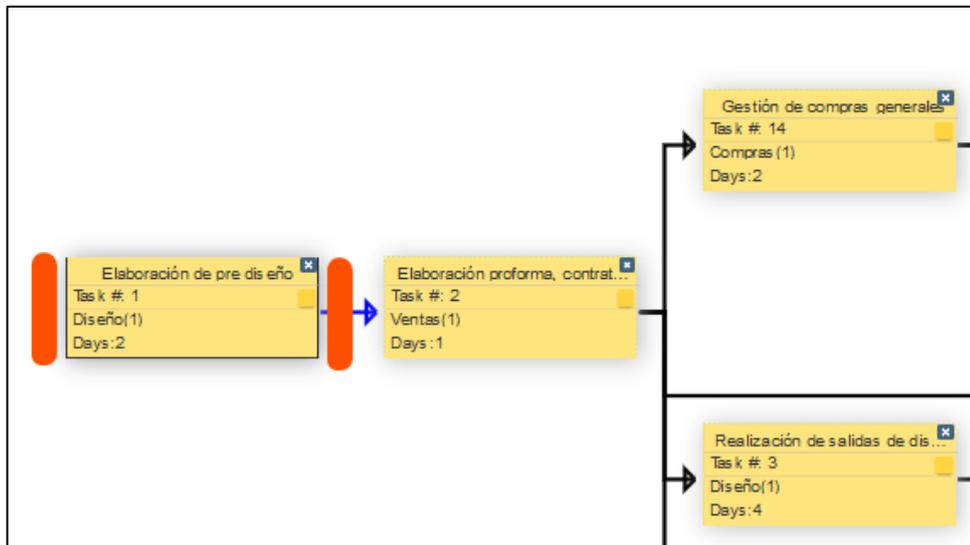


Figura 4-21: Añadir tareas, de Exepron.

Finalmente, de acuerdo a la cadena crítica que se propone en esta investigación se ingresa el diagrama pert con todas las tareas, duraciones en días laborales, se asigna recursos para la ejecución de las tareas y se vincula de acuerdo a las precedencias entre tareas con lo que se obtiene el diagrama del Anexo 11.

En esta investigación se realiza el seguimiento del nivel de cumplimiento de fechas de entrega con el software Exepron que identifica automáticamente la duración de la cadena crítica, en este caso, 60 días laborales y al mismo tiempo señala con azul las tareas que pertenecen a la cadena crítica en la Figura 4-22. El software propone las fechas en las que se debe realizar las tareas a partir de la fecha que se desea entregar la carrocería; es decir, una vez que el diagrama pert del Anexo 11 está completo, el gestor de proyectos ingresa la fecha estimada de entrega y mediante un cálculo hacia atrás el software propone las fechas que permiten alcanzar este objetivo incluido la cantidad en días del amortiguador de proyecto. Esta herramienta asegura que el nivel de cumplimiento sea acorde a los requisitos del cliente.

La Figura 4-22 muestra el diagrama Gantt que propone el software incluido la ubicación de amortiguadores en las cadenas de alimentación y el amortiguador de proyecto al final de la cadena crítica. Se observa el seguimiento de la metodología en función de un semáforo con tres áreas, verde estado óptimo, amarillo estado de prevención y rojo estado de urgencia.

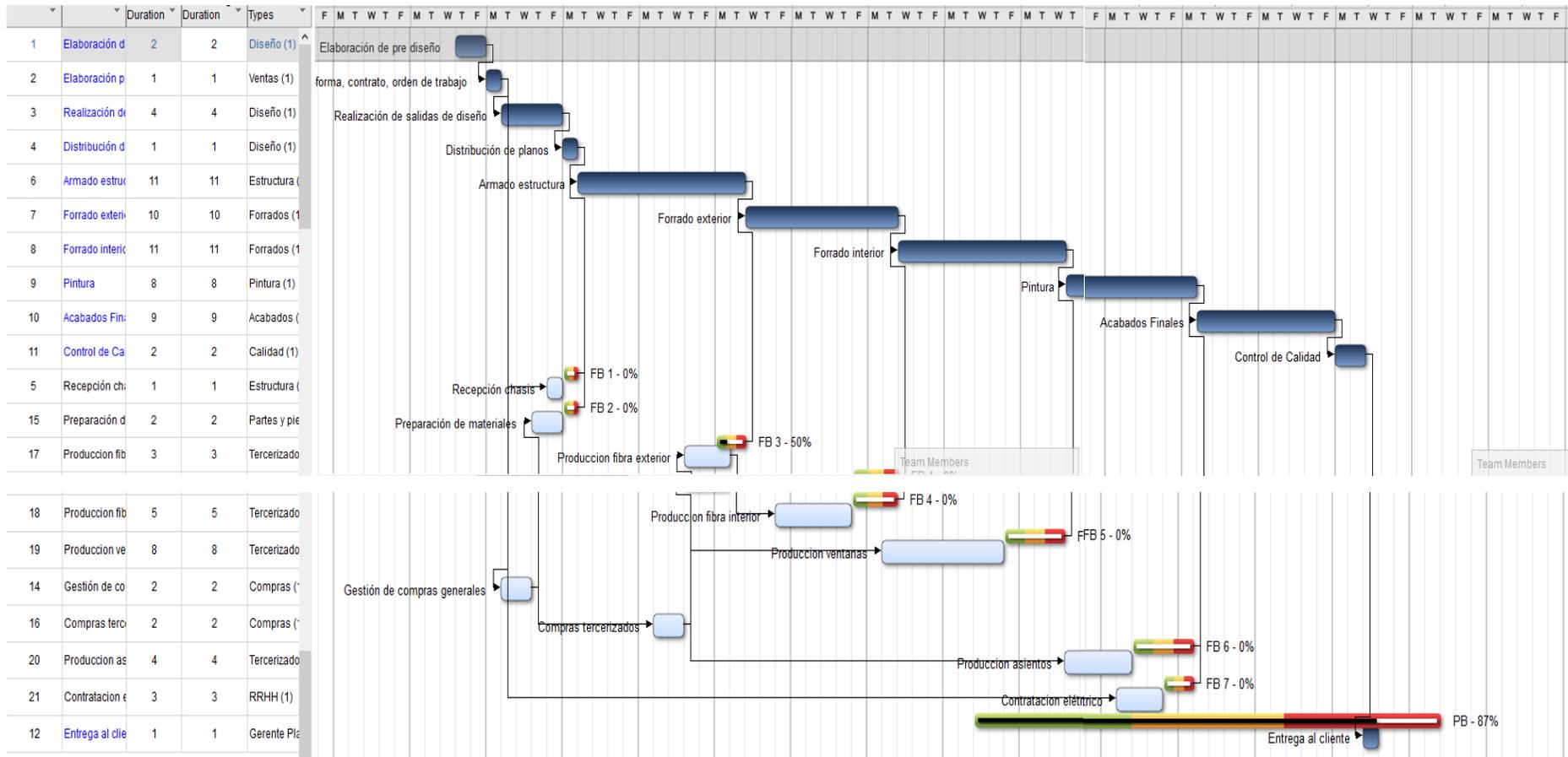


Figura 4-22: Diagrama Gantt para Elaboración de Carrocerías, de Exepron.

4.7.2 Administración dinámica de amortiguadores

Los indicadores de seguimiento en el método de la cadena crítica para la gestión de tiempos de elaboración de carrocerías se basan en el control del porcentaje de penetración del amortiguador (PBP) con la ecuación 4-6 y el porcentaje de cumplimiento de la cadena crítica (CCC) con la ecuación 4-7.

El PBP calcula cuántos días la cadena crítica tiene que ser traslapada hacia el amortiguador por retrasos en alguna tarea; así:

$$PBP = \frac{\text{Días de retraso de proyecto}}{\text{Días de buffer de proyecto}} \quad \text{Ec. (4 - 6)}$$

El CCC calcula cuántos días se han completado respecto de la longitud de la cadena crítica; así:

$$CCC = \frac{\text{Días de tareas de CC completadas}}{\text{Longitud cadena crítica}} \quad \text{Ec. (4 - 7)}$$

La Tabla 4-20 muestra las fechas de cumplimiento real de las tareas de la cadena crítica y el cálculo de los indicadores de seguimiento de proyecto. Se agrega la columna de CCCi que calcula el porcentaje individual de cumplimiento en tiempo de las tareas, como ayuda para el cálculo del CCCacumulado.

La Figura 4-23 muestra el seguimiento de la relación entre estos dos indicadores para el proyecto de elaboración de carrocería que esta investigación analiza. Se observa que existe un mejor cumplimiento de las fechas de entrega de cada tarea y la penetración en el amortiguador es mínima ya que no existe retrasos en la ejecución de las tareas.

En el gráfico se determinan tres zonas del amortiguador del proyecto; es decir, porcentualmente cada zona representa el 33,3% del tiempo del amortiguador. Este seguimiento permite tomar acción temprana en caso de que el proyecto permanezca demasiado tiempo en la zona roja que indica urgencia o retraso grave.

Tabla 4-20: ADMINISTRACIÓN DINÁMICA DE PROYECTO

Actividad	Tiempo	Fecha Plan	Fecha Real	PBP	CCCi	CCC acumulado
Elaboración de pre diseño	2	16/7/2020	16/7/2020	0%	3%	3%
Elaboración de proforma	0,5	17/7/2020	17/7/2020	0%	1%	4%
Elaboración de contrato	0,5	17/7/2020	20/7/2020	25%	1%	5%
Emisión de orden de trabajo	0	17/7/2020	20/7/2020	25%	0%	5%
Realización de salidas de diseño	4	23/7/2020	23/7/2020	25%	7%	12%
Distribución de planos y entendimiento	1	24/7/2020	23/7/2020	0%	2%	13%
Armado de estructura	11	10/8/2020	10/8/2020	0%	18%	32%
Forrado exterior	10	24/8/2020	24/8/2020	0%	17%	48%
Forrado interior	11	8/9/2020	8/9/2020	0%	18%	67%
Pintura	8	18/9/2020	21/9/2020	25%	13%	80%
Acabados finales	9	1/10/2020	2/10/2020	25%	15%	95%
Control de calidad	2	5/10/2020	6/10/2020	25%	3%	98%
Entrega al cliente	1	6/10/2020	8/10/2020	50%	2%	100%
Longitud cadena crítica (días)	60					

En el eje de las X se ubican los datos del avance del cumplimiento de la cadena crítica y en el eje de las Y se ubica el porcentaje de penetración del amortiguador.

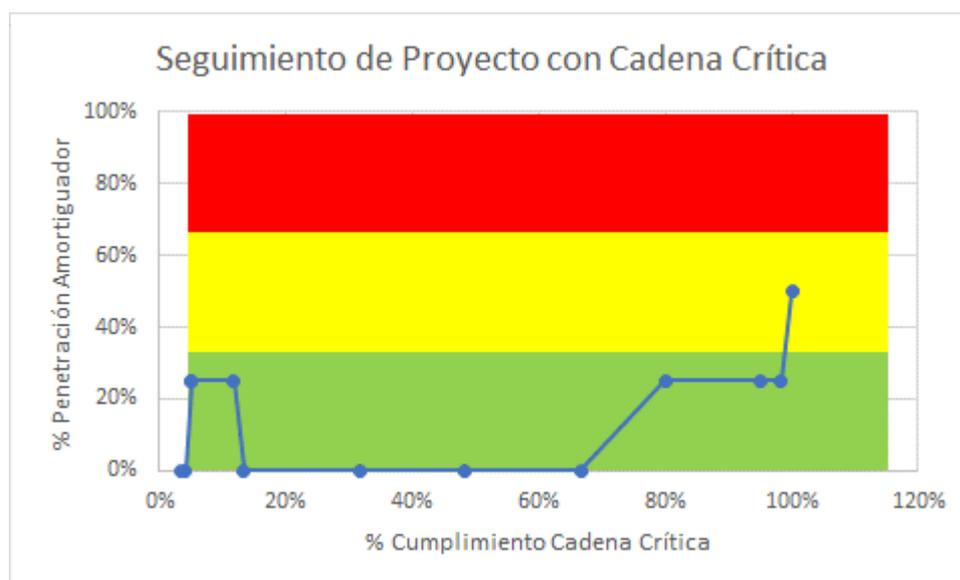


Figura 4-23: Administración visual de amortiguador, de Exepron.

4.7.3 Comparación descriptiva

La Figura 4-24 muestra la comparación del tiempo que toma la ejecución del proyecto de elaboración de carrocería bajo el método de gestión actual con 73 días en los cuales se aclara que la investigación aporta con el cálculo real de esta duración para la compañía ya que incluso bajo este enfoque Carrocerías Jácome no toma en cuenta todas las tareas que se requieren por lo que la gestión de tiempos no es adecuada.

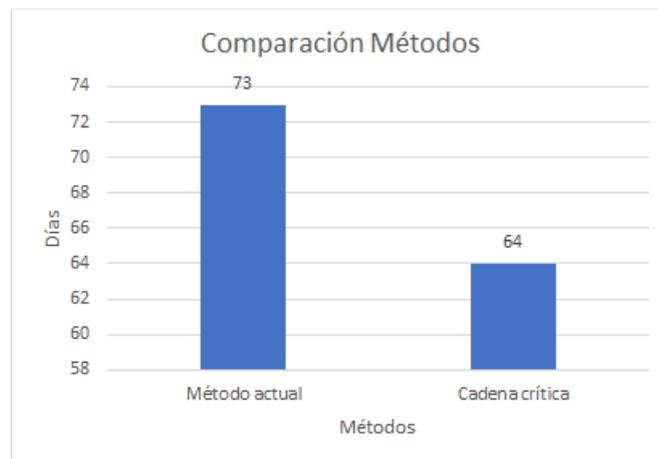


Figura 4-24: Comparación tiempo de entrega.

Con el método de cadena crítica se obtiene un tiempo de 64 días como tiempo de entrega para la elaboración de una carrocería, y se genera una reducción de 9 días respecto del método actual, este enfoque le permite a la compañía ofrecer al cliente tiempos promesa que se pueden alcanzar y cumplir.

En la Figura 4-25 se muestra el nivel de cumplimiento de los proyectos del 2019 en los que se debe aclarar que la compañía solo toma en cuenta los días de tiempo de entrega de la línea de producción sin considerar que el contacto con el cliente es mucho mayor como muestra esta investigación; sin embargo, de acuerdo a los registros de la compañía se grafica este nivel de cumplimiento. Además, se grafica el nivel de cumplimiento del proyecto del 2020 con el método de cadena crítica en el que se observa que incluso se llega a cumplir el tiempo de entrega con anticipación.

Se tiene un promedio de 103% como nivel de cumplimiento en el 2019 con el método de gestión de tiempos actual y se alcanza en 2020 un nivel del 97% con el método de cadea crítica como se indica en la Figura 4-25.

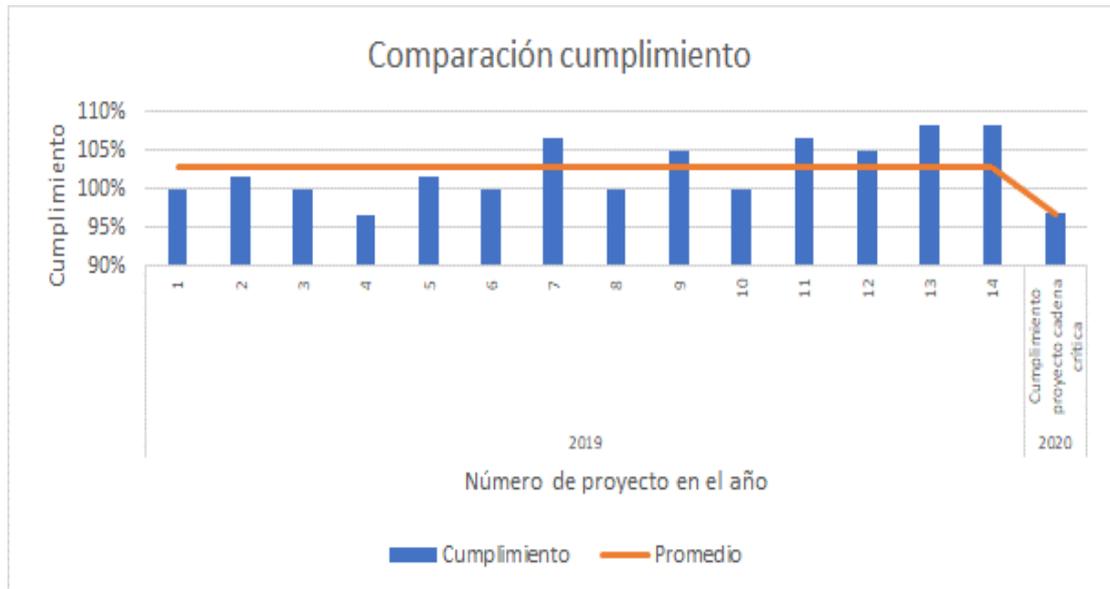


Figura 4-25: Comparación nivel de cumplimiento real.

4.7.4 Comparación por simulación

Debido a la crisis que generó la pandemia del Covid-19 Herald, (2020), la compañía no realiza proyectos de elaboración de carrocerías como lo venía haciendo normalmente por lo que no se pudo realizar el seguimiento real de varios proyectos. En este contexto, se opta por realizar una simulación de los tiempos de proyectos y en el Anexo 12 y verificar el nivel de cumplimiento que se puede alcanzar al aplicar cadena crítica.

Se vincula el tiempo de ejecución total del proyecto mediante el dashboard del software con el que se obtienen los resultados de la Tabla 4-21.

En la Figura 4-26 se muestra la comparación del nivel de cumplimiento promedio del método actual de 103% respecto del método de gestión de tiempos con cadena crítica, se observa que existe una eficacia promedio en el cumplimiento del 96% de acuerdo a los datos de la simulación. El nivel de cumplimiento mejora en 7% respecto del sistema

actual; se tiene un tiempo promedio de entrega de 61,44 días con certeza del 96% de cumplimiento.

Tabla 4-21: TIEMPO DE ENTREGA DE PROYECTO SIMULADO

# Simulación	Tiempo de entrega simulado (días)
1	65
2	61
3	63
4	64
5	58
6	62
7	58
8	60
9	59
10	58
11	63
12	63
13	63
14	64

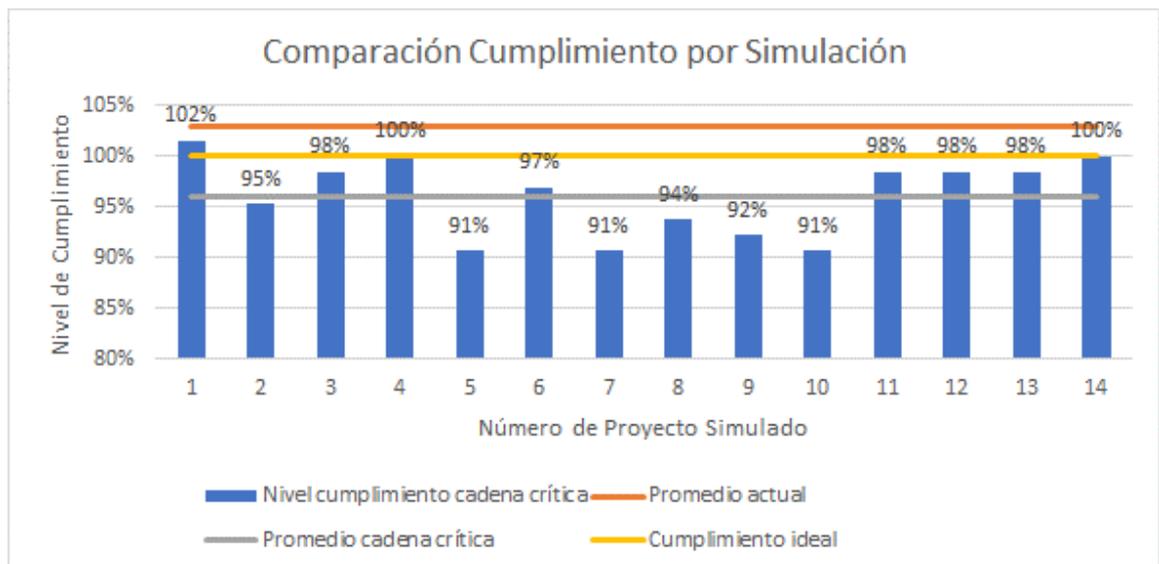


Figura 4-26: Comparación nivel de cumplimiento, tiempos simulados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA

5.1 Conclusiones

- La elaboración de carrocerías es un proceso en el que intervienen varias actividades con tiempos de entrega en días y se aplica un modelo de negocio del tipo trabajo bajo pedido. En este contexto, este tipo de producto no puede planificarse con métodos convencionales como el caso actual de Carrocerías Jácome en donde se considera a la línea de producción separado de las áreas de apoyo que entran en contacto con el cliente con anticipación, tareas como diseño, confirmación de pedido, generación de órdenes de trabajo y compras generales y a procesos tercerizados se omiten lo que genera retrasos e incumplimiento al tiempo de entrega final. La gestión actual de actividades se realiza a partir de un cronograma de actividades del cual resultan dos indicadores de seguimiento: avance de obra y cumplimiento de actividades los cuales no emiten alertas tempranas sobre atrasos en las tareas e incluso su interpretación resulta difícil para todos los niveles de la compañía. La gestión de actividades se basa en su mayoría en el buen juicio del gerente de planta quien elabora el cronograma y lo despliega en las distintas áreas de la línea de producción; a pesar de contar con un detalle de las tareas, la falta de interacción con las áreas previas de apoyo resulta en retrasos.

- La gestión de tiempos en Carrocerías Jácome se considera a partir del tipo de producto que se realiza, el cual inicia su producción solo con un pedido en firme y una fecha de entrega acordada. La cantidad de tareas que intervienen y los tiempos largos de ejecución generan la necesidad de contar con una herramienta de gestión de proyectos que se establece en la compañía a partir del método de la cadena crítica. La elaboración de carrocerías presenta un ambiente mixto entre manufactura y proyectos con 9 y 10 tareas clasificadas respectivamente. En el primer caso, se consideran tiempos y operaciones

estándar de producción. En el segundo caso, se consideran tareas únicas por pedido de cliente y cuyos tiempos tienen mayor nivel de incertidumbre. El análisis inicial brinda un tiempo de 73 días de ruta crítica a los cuales se aplica el método de la cadena crítica para obtener finalmente 64 días de tiempo de entrega incluido el tiempo del amortiguador de proyecto. La gestión de tiempos con cadena crítica que se establece en Carrocerías Jácome cuenta con la estructura de desglose de trabajo, el diagrama PERT con cadena crítica, cronograma detallado de tareas y tiempos y administración dinámica de amortiguadores que se complementan con el uso de un software gestor de proyectos que apoya la gestión visual e integral para la elaboración de una carrocería.

- El método de cadena crítica considera tanto las tareas de apoyo como las tareas en la línea de producción y refleja una reducción del tiempo de entrega de 9 días. Se considera las tareas desde el contacto inicial con el cliente hasta la entrega final del producto en el cual se evalúa el nivel de cumplimiento a partir de la fecha de entrega acordada. En la gestión actual de actividades se refleja en su mayoría proyectos con retrasos y un nivel de cumplimiento promedio de 103% lo que indica un 3% adicional por encima del tiempo de entrega prometido. En el método de cadena crítica se tiene un nivel de cumplimiento real del 97%, incluso alcanza un tiempo de entrega menor al prometido lo que representa una ventaja competitiva para la compañía. En el caso de tiempos simulados el nivel de cumplimiento en cadena crítica es de 96% en promedio; es decir, 61,44 días como tiempo de entrega promedio.

5.2 Recomendaciones

- Desplegar la estructura de desglose de trabajo para todo tipo de proyecto de elaboración de carrocerías y actualizarlo con frecuencias definidas.
- Realizar la gestión de proyectos con el apoyo del software Exepron ya que apoya la gestión visual y dinámica de amortiguadores de proyecto. Además, permite la integración en línea de todos los recursos de la empresa.

- Registrar en proyectos reales los tiempos de ejecución de las tareas de las áreas de apoyo y la línea de producción. Iniciar un programa de mejoramiento continuo para las operaciones estándar de producción.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, K., Aldas, D., & Reyes, J. (2017). Towards Lean Manufacturing from Theory of Constraints: A Case Study in Footwear Industry. *2017 International Conference on Industrial Engineering, Management Science and Application, ICIMSA 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICIMSA.2017.7985615>
- Alves Ribeiro, S., Assis Schmitz, E., De Alencar, A. J. S. M., & Ferreira Da Silva, M. (2018). Literature Review on the Theory of Constraints Applied in the Software Development Process. *IEEE Latin America Transactions*, *16*(11), 2747–2756. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8795116>
- Angulo Aguirre, L. (2014). *Preparación para la Certificación PMP*. Editorial Macro. https://books.google.com.ec/books?id=hgovDgAAQBAJ&dq=método+de+la+cadena+crítica&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Ashtiani, B., Jalali, G. R., Aryanezhad, M. B., & Makui, A. (2007). A new approach for buffer sizing in Critical Chain scheduling. *IEEM 2007: 2007 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, *1*(4), 1037–1041. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2007.4419350>
- Babayev, I. (2017). Priorities management in the portfolio of projects in complex and dynamically variable environments. *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*, *2*, 187–191. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2017.8099446>
- Bai, Z. Q., Dai, M., Wei, Q. Y., & Zhang, Z. S. (2019). An OEE Improvement Method Based on TOC. *Proceedings of the 2018 25th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, M2VIP 2018*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/M2VIP.2018.8600875>
- Bierwolf, R., Romero, D., Pelk, H., & Stettina, C. J. (2018). On the future of project management innovation: A call for discussion towards project management 2030. *2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation: Engineering, Technology and Innovation Management Beyond 2020: New*

- Challenges, New Approaches, ICE/ITMC 2017 - Proceedings, 2018-Janua*, 689–698. <https://doi.org/10.1109/ICE.2017.8279952>
- Carneiro, L. B., Silva, A. C. C. L. M., & Alencar, L. H. (2019). Scrum Agile Project Management Methodology Application for Workflow Management: A Case Study. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2019-Decem*, 938–942. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607356>
- Castro Martínez, A. (2015). *Planificación y gestión de la demanda*. Editorial Elearning, S.L. https://books.google.com.ec/books?id=BHpXDwAAQBAJ&dq=método+de+la+cadena+crítica&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Chapman, S. (2006). *Planificación y control de la producción*. Pearson Educación. https://books.google.com.ec/books?id=ceHEMOttnh4C&dq=teoría+de+restricciones&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Cuartas Montoya, C. M., & Lopera Zapata, R. G. (2009). Aplicación de la metodología TOC al estándar PMI ® *. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, 4, 209–227. [http://revistapostgrado.eia.edu.co/Revista Edicion No.4/11 Aplicación de la metodología TOC.pdf](http://revistapostgrado.eia.edu.co/Revista%20Edicion%20No.4/11%20Aplicación%20de%20la%20metodología%20TOC.pdf)
- Cuatrecasas Arbós, L. (2012). Gestión de proyectos. In E. D. de Santos (Ed.), *Organización de la producción y dirección de operaciones* (p. 38). https://books.google.com.ec/books?id=jxNvbfv2rL8C&dq=gestión+de+proyectos&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Ellis, G. (2015). *Project Management in Product Development: Leadership Skills and Management Techniques to Deliver Great Products*. Butterworth-Heinemann. https://books.google.com.ec/books?id=Fn8VBgAAQBAJ&dq=ccpm&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Exepron. (2020). *CCPM Case Study*. <https://www.exepron.com/video-gallery-ccpm-case-studies>
- Frijns, P., Van Leeuwen, F., & Bierwolf, R. (2017). Project management -A more balanced approach. *2017 IEEE Technology and Engineering Management Society Conference, TEMSCON 2017*, 234–238. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2017.7998382>
- Goldratt, E. (2007). *Cadene Crítica*. Ediciones Granica S.A. <https://books.google.com.ec/books?id=txnSma6->

KxEC&dq=método+de+la+cadena+crítica&hl=es&source=gbs_navlinks_s

- Gómez, L., & Jiménez, J. (2014). Gestión de Proyectos con Teoría de Restricciones aplicada al área técnica de la Compañía Construcciones y Servicios S. A. *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, 4, 195–208. <http://eia-dspace.metabiblioteca.com/handle/11190/659>
- Guada, L. (2015). *Modelo de Gestión basado en la Teoría de las Restricciones para la Gerencia de Proyectos en las empresas del sector Inmobiliario*. Universidad De Carabobo.
- Gundogar, E., Sari, M., & Kokcam, A. H. (2016). Dynamic bottleneck elimination in mattress manufacturing line using theory of constraints. *SpringerPlus*, 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2947-1>
- Hagemann, A. G. (2001). Use of the critical chain project management technique at NASA, Langley Research Center. *20th DASC. 20th Digital Avionics Systems Conference (Cat. No.01CH37219)*, 1, 4B1/1-4B1/10. <https://doi.org/10.1109/DASC.2001.963368>
- Heraldo, E. (2020, July 9). *Carroceros en la incertidumbre*. <https://www.elheraldo.com.ec/carroceros-en-la-incertidumbre/>
- Huang, X. B., & Yang, L. X. (2009). Setting lead-time in project manufacturing environment based on CCPM. *2009 International Conference on Apperceiving Computing and Intelligence Analysis, ICACIA 2009*, 407–410. <https://doi.org/10.1109/ICACIA.2009.5361070>
- Lin, D., Lee, C. K. M., & Zhou, X. (2018). Integration of TOC and ERP in Production Planning. *2018 8th International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)*, 71701126, 1–6. <https://doi.org/10.1109/LISS.2018.8593237>
- Ma, C., Hu, W., & Deng, Y. (2019). Application of improved critical chain and earned value technique in software engineering integrated project progress control. *ISCAIE 2019 - 2019 IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics*, 136–142. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE.2019.8743672>
- Mármol García, A. J. (2019). *Project Management*. Editorial Elearning, S.L. https://books.google.com.ec/books?id=wXfIDwAAQBAJ&dq=método+de+la+cadena+crítica&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Morozov, V., Kalnichenko, O., & Liubyma, I. (2017). Proactive project management for development of distributed information systems. *2017 4th International*

- Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 25–28.
<https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246141>
- Project Management Institute. (2017). Dirección de proyectos (Guía del Pmbok). In *Guía de los Fundamentos para la dirección de Proyectos Sexta Edición*. www.pmi.org
- Ramón Rodríguez, J. (2011). *Gestión de proyectos informáticos: métodos, herramientas y casos* (E. UOC (ed.)).
https://books.google.com.ec/books?id=I22YPj6iBisC&dq=gestion+de+proyectos+pmbok&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Reddy, J., & Telukdarie, A. (2018). Procedures to accommodate system fluctuations that result in buffer compromised systems governed by the theory of constraints. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2017-Decem*, 539–543.
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289949>
- Retnowardhani, A., & Suroso, J. S. (2019). Project Management Information Systems (PMIS) for Project Management Effectiveness: Comparison of Case Studies. *Proceedings - 2019 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering, ICOMITEE 2019, 1*, 160–164.
<https://doi.org/10.1109/ICOMITEE.2019.8921046>
- Reyes, J., Alvarez, K., & Vasquez, R. (2015). Dynamic Buffer Management for Raw Material Supply in the Footwear Industry. *Journal of Industrial and Intelligent Information, 4*(1), 1–8. <https://doi.org/10.12720/jiii.4.1.1-8>
- Rodríguez Combeller, C. (1993). *El nuevo escenario: la cultura de calidad y productividad en las empresas*. ITESO.
https://books.google.com.ec/books?id=IAcY7k6GKbUC&dq=concepto+teoria+de+restricciones&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Scott, C. (2011). *Critical Chain - Project Management*. The simple guide to.
https://books.google.com.ec/books?id=PDzDRsMJKo8C&printsec=frontcover&dq=ccpm&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjEif_ywYLtAhXOmVkKHVUCCmEQ6AEwA3oECAEQAg#v=onepage&q=ccpm&f=false
- Su, Y., Lucko, G., & Thompson, R. C. (2016). Evaluating performance of critical chain project management to mitigate delays based on different schedule network complexities. *Proceedings - Winter Simulation Conference, 0*(2013), 3314–3324.

<https://doi.org/10.1109/WSC.2016.7822362>

- Toala, M., Romero, R., Ganchoso, M., Alvarez, C., Jaime, M., Pinargote, J. de los S., Romero, V., & Bazurto, J. (2019). *Introducción a la Gestión de Proyectos* (3Ciencias (ed.)).
- Toljaga-Nikolic, D., Petrovic, D., & Mihic, M. (2017). How to choose the appropriate project management approach? *Proceedings of the 12th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2017*, 2, 1–5. <https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2017.8099448>
- Toro López, F. (2014). *Gestión de proyectos con enfoque PMI* (E. Ediciones (ed.)). https://books.google.com.ec/books?id=7cG4DQAAQBAJ&dq=gestion+de+proyectos&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Uriel, I., & Amnon, G. (2018). Function of Organizational Knowledge Management. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1, 340–356. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607799>

5.4 ANEXOS

Anexo 01: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS ESTRATÉGICOS.

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Clientes Entes de Control	Requisitos de clientes internos y externos Regulaciones de entidades gubernamentales	Planificación: <ul style="list-style-type: none"> • Verificación de los requisitos de los clientes internos y externos. • Elaboración de un plan de actividades. • Elaboración de presupuestos. • Verificación del avance y de resultados de las acciones tomadas. 	Plan estratégico	Toda la organización
			Plan de actividades (tiempo de entrega) Acciones de mejora a corto, mediano y largo plazo	
Clientes Datos estadísticos	Requisitos de clientes internos y externos Tendencias del mercado	Marketing: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las necesidades de los potenciales consumidores. • Plantear estrategias en base al producto, el precio, oportunidad de entrega. • Verificación de los objetivos logrados y de los que no, para eliminar errores de resultados en las acciones tomadas. 	Plan de marketing	Productos de la compañía
			Listado de potenciales clientes a corto, mediano y largo plazo	

Anexo 02: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS CLAVE.

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Clientes Instituto de contratación pública del Ecuador	Requisitos del cliente externo Ofertas en contratación pública	Ventas: <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los potenciales clientes. • Clasificar a los clientes. • Elaborar proformas acordes a los requisitos. 	Proforma	Cliente externo Gerente de Planta - Proceso Planificación
			Contrato	
			Orden de Trabajo	
Clientes Entes de Control Ventas	Requisitos de clientes internos y externos Regulaciones de entidades gubernamentales Manual de carrozado del chasis	Diseño: <ul style="list-style-type: none"> • Verificación de los requisitos del cliente con la normativa legal vigente. • Elaboración de pre diseño. • Validación del pre diseño con el cliente. • Elaboración de planos finales y distribución al Gerente planta y responsables de Grupo. • Almacenamiento en Directorio de Planos. 	Planos técnicos	Gerente de Planta - Proceso Planificación
			Especificaciones de producto	
			Lista de materiales	Responsables de grupos - Proceso Fabricación Carrocerías Responsable de grupo - Proceso Producción Partes y Piezas
			Certificado de ensayo de impacto y vuelco	
			Cálculo estructural	
Cliente	Chasis	Recepción de Chasis: <ul style="list-style-type: none"> • Verificación de partes y accesorios funcionando. • Verificación de herramientas-neumáticos. • Condiciones en las que ingresa a la planta. 	Chasis revisado	Anclaje y ensamble de estructura

Anexo 02: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS CLAVE.

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Gerente de Planta Bodega Recepción de chasis Diseño	Plan de actividades Chasis Materia prima y materiales Planos técnicos	Ensamble y anclaje de estructura: <ul style="list-style-type: none"> • Desmontaje de accesorios y protección de partes. • Nivelación de chasis. • Dimensionamiento y colocación de placas/apoyo. • Estructura de frente y respaldo. • Remate estructura. • Alineación-pulido-fondeado de estructura. 	Estructura anclada, rematada y alineada al chasis	Forrado exterior
Gerente de Planta Anclaje y ensamble de estructura Bodega Partes y piezas Diseño	Plan de actividades Estructura Láminas metálicas (forros) y fibras Planos técnicos	Forrado exterior: <ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la estructura. • Corte y preparación de la lámina y fibras de vidrio (frente y posterior). • Pegado, remachado, soldado de láminas y fibras. • Templado de láminas. • Terminación de bordes. 	Carrocería forrada	Preparación y pintura. Procesos tercerizados (eléctrico, ventanas, asientos)
Gerente de Planta Forrado exterior Bodega Diseño	Plan de actividades Carrocería Forrada Materia prima Diseños externos	Preparación y pintura: <ul style="list-style-type: none"> • Lijado • Masillado • Fondeado • Pintado de la carrocería. • Pintado de partes y piezas. • Calafateado. • Cogido de fallas y limpieza. 	Carrocería pintada interior y exterior	Terminado Procesos Tercerizados (eléctrico-ventanas-asientos)

Anexo 02: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS CLAVE.

Proveedores	Proveedores	Proveedores	Proveedores	Proveedores
<p>Gerente de Planta</p> <p>Preparación y pintura</p> <p>Bodega</p> <p>Producción partes y piezas</p>	<p>Plan de actividades</p> <p>Carrocería pintada</p> <p>Accesorios</p>	<p>Terminado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Interior: <ul style="list-style-type: none"> ○ Colocación forro interior/exterior laterales, frente y respaldo. ○ Colocación de: asientos, pasamanos, canastillas, sistema eléctrico (luces, audio y video), consolas, tableros, tapa-máquinas, espejos y baño (si amerita). • Exterior: <ul style="list-style-type: none"> ○ Colocación ventanas, parabrisas, claraboyas, luces, antenas, espejos, retrovisores. ○ Instalación de puertas, compuertas y gradas. 	<p>Carrocería terminada</p>	<p>Gerente de planta</p> <p>Cliente final</p>
<p>Cliente interno/externo</p> <p>Diseño</p> <p>Planificación</p> <p>Bodega</p>	<p>Necesidades del cliente</p> <p>Proceso de diseño</p> <p>Plan de actividades</p> <p>Orden de trabajo</p>	<p>Producción de Partes y Piezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requerimiento de materiales. • Preparación/construcción de matrices, JIGS y moldes. • Fabricación de pares y piezas. • Ensamble-montaje de las mismas. • Preparación – acabados. 	<p>Accesorios listos</p> <p>Mantenimiento carrocerías</p>	<p>Preparación y pintura</p> <p>Procesos tercerizados</p>

Anexo 03: SISTEMA DE PRODUCCIÓN PROCESOS DE APOYO.

Proveedores	Entradas	Procesos	Salidas	Clientes
Proveedores de capacitación Gerente General	Cursos de capacitación Personal nuevo	Recursos Humanos: <ul style="list-style-type: none"> • Contratación de personal nuevo. • Cumplimiento legal asociado al personal. 	Personal calificado para su puesto de trabajo Personal evaluado	Toda la organización
Proveedores externos Procesos tercerizados (eléctrico, ventanas, asientos)	Requerimiento de materiales	Compras: <ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y selección de nuevos proveedores. • Realización de pedidos. • Ingreso y egreso de materiales de bodegas. • Gestión de inventario de bodega. • Liberación de pagos a proveedores. 	Producto comprado Proveedores seleccionados y evaluados Stock de materiales	Bodega
Procesos de producción Gerente de planta	Especificaciones y normas técnicas	Calidad: <ul style="list-style-type: none"> • Planificación de las auditorías • Realización de las auditorías • Identificación no conformidades • Cierre de no conformidades • Identificación de oportunidades de mejora. 	Informes de auditorías Solicitud de reproceso	Procesos de producción Gerente de planta
Gerente General	Plan general de mantenimiento Inventario de máquinas	Infraestructura: <ul style="list-style-type: none"> • Levantar el plan general de mantenimiento estableciendo la frecuencia de realización. • Coordinar y ejecutar el plan general de mantenimiento • Suministrar la logística, personal, herramientas y repuestos a tiempo para ejecutar el plan. 	Plan de mantenimiento ejecutado	Toda la organización

Anexo 04: REQUISITOS CARROCERÍA.

Cliente	MV
Cooperativa	El Dorado
Número de Motor	J08EUD33451
Número de Chasis	JHDAK8JRSKXX17387
Orden de Producción	CJ-OP09-MV
Modelo	Interprovincial personalizado
Capacidad	45 personas
Tipo de Uso	Interprovincial
Baño	No
Incluye Diseño Estructural	Si
Incluye Cambios en Fibras	Si
Selección de Asientos	Si
Accesorios adicionales	Si
Diseño exterior corporativo	Si
Fecha Inicio	6/8/2020
Fecha Fin Estimada	28/10/2020
Tiempo Entrega	60 días laborales

Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL.

			PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																		OP: CJ-OP09-MV						
		ACTIVIDADES/DÍAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
1	Recepción de chasis	1 Revisión de chasis																									
		2 Retiro tablero, baterías y computadora																									
		3 Protección del volante y cañerías																									
2	Preparación	4 Preparación del material para armado																									
2	Armado de estructuras	5 Ensamble de U sobre chasis																									
		6 Montaje durmientes transv. sobre U																									
		7 Montaje de guías para laterales																									
		8 Montaje de arcos estructuras laterales																									
		9 Armado de estructura de cubierta																									
		10 Montaje de faldones																									
		11 Unión chasis y estructura con pernos																									
		12 Colocación de templadores traseros																									
		13 Armado caja de revisión (cambios ref.)																									
		14 Ensamble templadores																									
3	Forrado exterior	15 Ensamble piso delantero																									
		16 Rematado de estructura																									
		17 Inspeccion 01																									
2	Preparacion	18 Ensamble long, transv. (piso, asientos)																									
		19 Ensamble de ref. curvas ventana																									
2	Preparacion	20 Fabricación de gradas																									

Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL (Continuación).

		PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																		OP: CJ-OP09-MV								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
3	Forrado exterior	21 Colocación (Armado de grada trasera)																										
		22 Preparación/colocación de arrastres																										
		23 Alineación de arrastres																										
		24 Armado estructura cajuelas laterales																										
		25 Aumento delant, poster. a chasis (op.)																										
		26 Armado soporte frente, porta parabrisas																										
		27 Ensamble portaparabrisas estruct.																										
		28 Colocación refuerzos techo y alineación																										
		29 Pegado de forro exterior de techo																										
		30 Abertura de ventoleras																										
		31 Adaptación de guardachoque posterior																										
		32 Colocación de tapa fibra en techo																										
		33 Armado estructura aerea, peg. concha																										
		34 Armado frente, porta faros guard del.																										
		35 Armado de mascarilla																										

Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL (Continuación).

		PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																	OP: CJ-OP09-MV						
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
ACTIVIDADES/DÍAS																									
3	Forado exterior	36	Forado de cajuelas laterales	21	22																				
		37	Colocación refuerzo y enderez. Estruct.		22																				
		38	Preparación, pegado forro exter. Later.		22	23	24	25																	
4	Forado interior	39	Acoplado y colocación de guardalodos					26																	
		40	Armado de bases para tablero					26																	
		41	Instalación eléctrica interior (CABLEADO)					26																	
		42	Armado del estribo delantero y posterior					26	27																
		43	Adaptación del depurador en carro					27																	
		44	Colocación refuerzos forro inter. techo					27	28																
		45	Calefateado del techo interior					28																	
		46	Armado del tapamáquina					28	29																
		47	Colocación de piso					29																	
		48	Colocación de tapatimbres					29	30																
		49	Forro interior del techo					30																	
		50	Forro interior del respaldo					30	31																
		51	Colocación parantes, puertas ingreso					31																	
		52	Forro interior del costado					31	32																
	53	Colocación y acople del parabrisas					32																		
	54	Pegado fibras (Frente, Posterior)					32	33																	

Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL (Continuación).

			PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																OP: CJ-OP09-MV						
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
4	Forrado interior	55	Inspeccion 02																						
		56	Adaptación de la consola																						
		57	Adaptación de plumas en el carro																						
		58	Construcción y colocación puertas de cajuelas																						
		59	Colocación de guardachoque posterior																						
		60	Armado estruct. puerta poster. cajuela																						
		61	Colocación de puntas en el techo																						
		62	Colocación curvas en parantes vent.																						
5	Preparación de pintura	63	Masillado y lijado de la carrocería																						
		64	Pulido de sueldas, preparado de grada																						
		65	Fondeado de carrocería																						
		66	Colocación de ventanas																						
		67	Colocación cucuyas y faros posteriores																						
6	Pintura	68	Pintura base																						
		69	Corrección de fallas de pintura																						

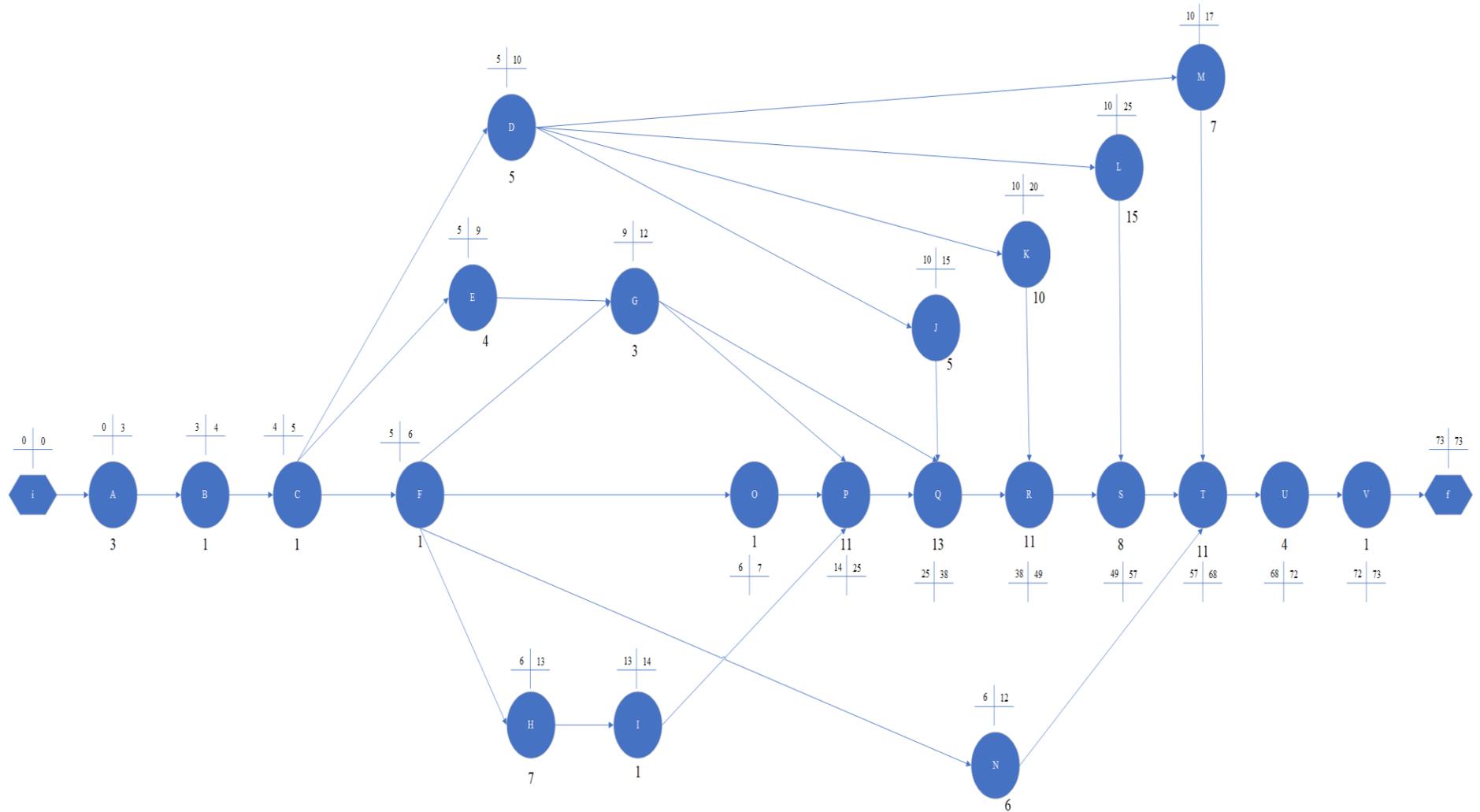
Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL (Continuación).

		PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																		OP: CJ-OP09-MV					
		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
ACTIVIDADES/DÍAS																									
7	Acabados finales	70	Coloc. guardapol. JACOME protec. Motor																						
	71	Colocación de botaguas																							
	72	Colocación de guardafangos																							
	73	Colocación de luces de salón																							
	74	Colocación de marcos de ventoleras																							
	75	Colocación de asientos																							
	76	Armado de tarjetero																							
	77	Colocación de tablero																							
	78	Montaje parabrisas delantero y posterior																							
	79	Colocación de tapamáquina																							
	80	Colocación de la consola																							
	81	Colocación de aluminios en estribos																							
	82	Colocación del depurador																							
	83	Colocación de puertas de ingreso																							
	84	Colocación de tubo de escape																							
	85	Colocación de faros y alógenos																							
	86	Colocación guardachoque del, mascarilla																							
	87	Instalación de radio, TV y DVD																							
	88	Colocación de pasamanos exteriores																							
	89	Colocación de pasamanos interiores																							
90	Colocación placas JACOME y emblemas																								
91	Colocación del tarjetero																								

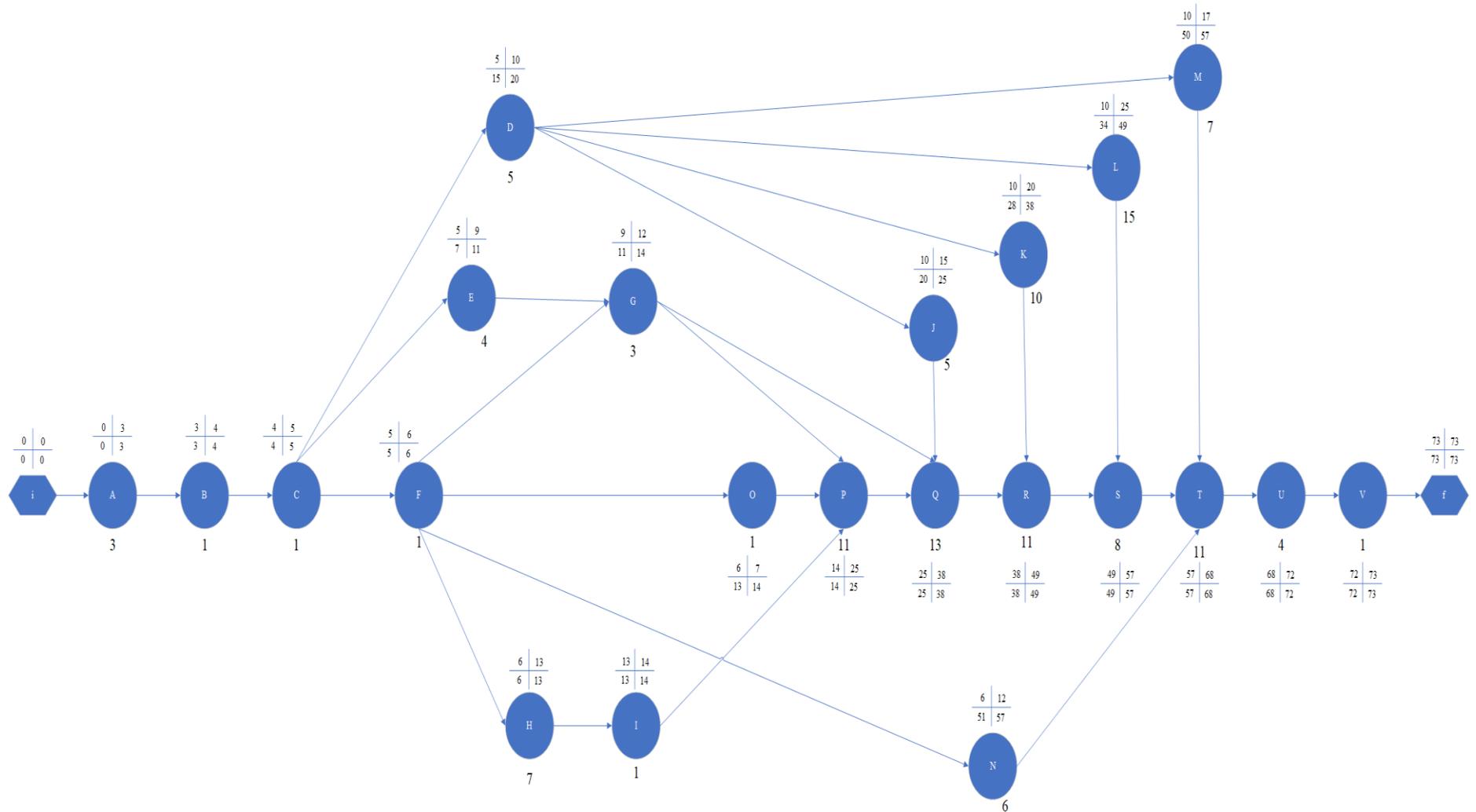
Anexo 05: CRONOGRAMA PROYECTO BUS INTERPROVINCIAL (Continuación).

				PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																			OP: CJ-OP09-MV					
		ACTIVIDADES/DÍAS	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68		
7	Acabados finales	92	Colocación de asiento del chofer																									
		93	Colocación de ventoleras																									
		94	Colocación vidrios en puertas de ingreso																									
		95	Empacado colocación puerta poster. Caj.																									
		96	Empacado de cajuelas																									
		97	Colocación espejos inter, exteriores																									
		98	Limpieza interior de cajuelas y sellado																									
		99	Sellado de las ventanas																									
		100	Calefateado del bus																									
		101	Limpieza interior del carro																									
		102	Limpieza exterior del carro																									
		103	Inspeccion 03																									
8	Control de calidad	104	Revisión del sistema eléctrico																									
		105	Revisión del sistema de aire																									
		106	Revisión del motor y aceite																									
		107	Revisión de frenos																									
		108	Control de calidad																									
		109	Inspeccion 03																									
9	Entrega al cliente	110	Entrega al cliente																									

Anexo 06: CÁLCULO HACIA ADELANTE – TIEMPO DE TERMINACIÓN MÁS TEMPRANO.



Anexo 07: CÁLCULO HACIA ATRÁS – TIEMPO DE INICIO MÁS TARDÍO.



Anexo 08: CONCEPTOS TOC PARA PROYECTOS.

Un concepto clave del método de cadena crítica es que considera aspectos de la naturaleza humana. El concepto de seguridad relaciona el hecho de que mucha gente provee estimados de duración de actividades basadas en malas experiencias previas. Ellos naturalmente incluyen contingencia para tener confianza de que van a completar la actividad en el tiempo estimado. En TOC se considera:

El síndrome del estudiante porque la gente sabe que el cronograma tiene seguridad dentro, ellos esperan hasta el último minuto para completar el trabajo. Provoca que el inicio de cada actividad se vaya postergando hasta el último momento, causando que los resultados no puedan obtenerse hasta alcanzar el plazo máximo fijado para cada tarea.

Además, se considera la ley de Parkinson que prueba que por norma general, el trabajo se expande hasta cubrir todo el tiempo asignado para su consecución.

La cadena crítica considera estos problemas al aplicar el principio de estimación de las duraciones de las actividades para que representen un 50/50 de probabilidad de ser terminadas y el tiempo adicional se convierte en amortiguadores.

En este contexto, se registran los tiempos reales de duración de las tareas de acuerdo a los responsables de ejecución. Se observa que, en base a la estimación normal del tiempo, la probabilidad de cumplir la tarea en un tiempo menor está por encima del 50%. Por lo cual se infiere que en las actividades tipo proyecto aparecen los síntomas de agregar tiempos de seguridad por contingencias de parte de los responsables de ejecutarlas.

Anexo 08: Conceptos TOC para proyectos (Continuación).

#	Elaboración de pre diseño	Elaboración de proforma	Elaboración de contrato	Emisión de orden de trabajo	Realización de salidas de diseño	Distribución de planos y entendimiento
1	3	2			5	1
2	2	1			3	1
3	2	2			5	1
4	2	2			4	0
5	3	1			3	1
6	3	1			4	1
7	2	1			3	1
8	2	1			4	1
9	2	1			5	0
10	3	2			4	0
11	2	1			4	0
12	3	2			5	1
13	2	2			5	0
14	2	1			5	0
Estimación normal	3	3			7	1
P(normal)	35,71%	0,00%			0,00%	57,14%
P(menor a estimacion)	64,29%	100,00%			100,00%	42,86%

Anexo 09: PLAN DE PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA

			PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																		OP: PROPUESTO								
			ACTIVIDADES/DÍAS			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	Diseño	1	Elaboración de pre diseño	■	■																								
B	Ventas	1	Elaboración de proforma			■																							
C		2	Elaboración de contrato y orden de trabajo			■																							
F		3	Emisión de orden de trabajo			■																							
H	Diseño	1	Realización de salidas de diseño			■	■	■	■																				
I		2	Distribución de planos y entendimiento							■	■																		
E	Compras	1	Gestión de compra generales				■	■																					
G	Partes y Piezas	1	Preparación de materiales para armado						■	■	■																		
D	Compras	1	Gestión de compra tercerizados						■	■																			
J	Tercerizado Fibras	1	Producción y entrega de fibra exterior								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
K		2	Producción y entrega de fibra interior																										
L	Tercerizado ventanas	1	Producción y entrega de ventanas																										
M	Tercerizado asientos	1	Producción y entrega de asientos																										
N	RRHH	1	Contratación electrico																										
O	Recepción de chasis	1	Revisión de chasis																										
		2	Retiro tablero,baterías y computadora																										
		3	Protección del volante y cañerías																										
P	Armado de estructuras	1	Ensamble de U sobre chasis																										
		2	Montaje durmientes transv. sobre U																										
		3	Montaje de guías para laterales																										
		4	Montaje de arcos estructuras laterales																										
		5	Armado de estructura de cubierta																										
		6	Montaje de faldones																										
		7	Unión chasis y estructura con pernos																										
		8	Colocación de templadores traseros																										
		9	Armado caja de revisión (cambios ref.)																										
		10	Ensamble templadores																										
		11	Ensamble piso delantero																										

Anexo 09: PLAN DE PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA (Continuación)

	ACTIVIDADES/DÍAS	PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																			OP: PROPUESTO															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25										
P	Armado de estructuras	11	Ensamble piso delantero																																	
		12	Rematado de estructura																																	
		13	Inspeccion 01																					f												
G	Partes y Piezas	1	Fabricación de gradas																																	
Q	Forrado exterior	1	Ensamble long, transv. (piso, asientos)																								i									
		2	Ensamble de ref. curvas ventana																																	
		3	Colocación (Armado de grada trasera)																																	
		4	Preparación/colocación de arrastres																																	
		5	Alineación de arrastres																																	
		6	Armado estructura cajuelas laterales																																	
		7	Aumento delant, poster. a chasis (op.)																																	
		8	Armado soporte frente, porta parabrisas																																	
		9	Ensamble portaparabrisas estruct.																																	
		10	Colocación refuerzos techo y alineación																																	
		11	Pegado de forro exterior de techo																																	
		12	Abertura de ventoleras																																	
		13	Adaptación de guardachoque posterior																																	
		14	Colocación de tapa fibra en techo																																	
		15	Armado estructura aerea, peg. concha																																	
		16	Armado frente, porta faros guard del.																																	

Anexo 09: PLAN DE PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA (Continuación)

	ACTIVIDADES/DÍAS	PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																	OP: PROPUESTO								
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
Q	Forrado exterior	17 Armado de mascarilla	■	■																							
		18 Forrado de cajuelas laterales			■	■																					
		19 Colocación refuerzo y enderez. Estruct.				■																					
		20 Preparación, pegado forro exter. Later.				f																					
R	Forrado interior	1 Acoplado y colocación de guardalodos					i																				
		2 Armado de bases para tablero					■																				
		3 Instalación eléctrica interior (CABLEADO)					■																				
		4 Armado del estribo delantero y posterior					■	■																			
		5 Adaptación del depurador en carro						■																			
		6 Colocación refuerzos forro inter.techo						■	■																		
		7 Calefateado del techo interior							■																		
		8 Armado del tapamáquina								■	■	■															
		9 Colocación de piso									■																
		10 Colocación de tapatimbres										■															
		11 Forro interior del techo											■	■													
		12 Forro interior del respaldo												■													
		13 Colocación parantes puertas ingreso													■												
		14 Forro interior del costado														■											
		15 Colocación y acople del parabrisas															■	■									
		16 Pegado fibras (Frente,Posterior)																■									
		17 Inspeccion 02																	■								
		18 Adaptación de la consola																	■	■							
		19 Adaptación de plumas en el carro																		■							
		20 Construcción y colocación puertas de cajuelas																			■						
		21 Colocación de guardachoque posterior																				■					
		22 Armado estruct. puerta poster. cajuela																					■				
		23 Colocación de puntas en el techo																						■			
		24 Colocación curvas en parantes vent.																							f		
S	Pintura	1 Masillado y lijado de la carrocería																									

Anexo 09: PLAN DE PROYECTO DE ELABORACIÓN CARROCERÍA (Continuación)

			PLANIFICACIÓN DE AVANCE DE OBRA																			OP: PROPUESTO							
		ACTIVIDADES/DÍAS	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73		
T	Acabados finales	18																											
		19																											
		20																											
		21																											
		22																											
		23																											
		24																											
		25																											
		26																											
		27																											
		28																											
		29																											
		30																											
		31																											
		32																											
33																													
34												f																	
U	Control de calidad	1																											
		2																											
		3																											
		4																											
		5																											
		6																											
V	Gerente de Planta	1																											

Anexo 10: CARGUE DATOS EN EXEPRON

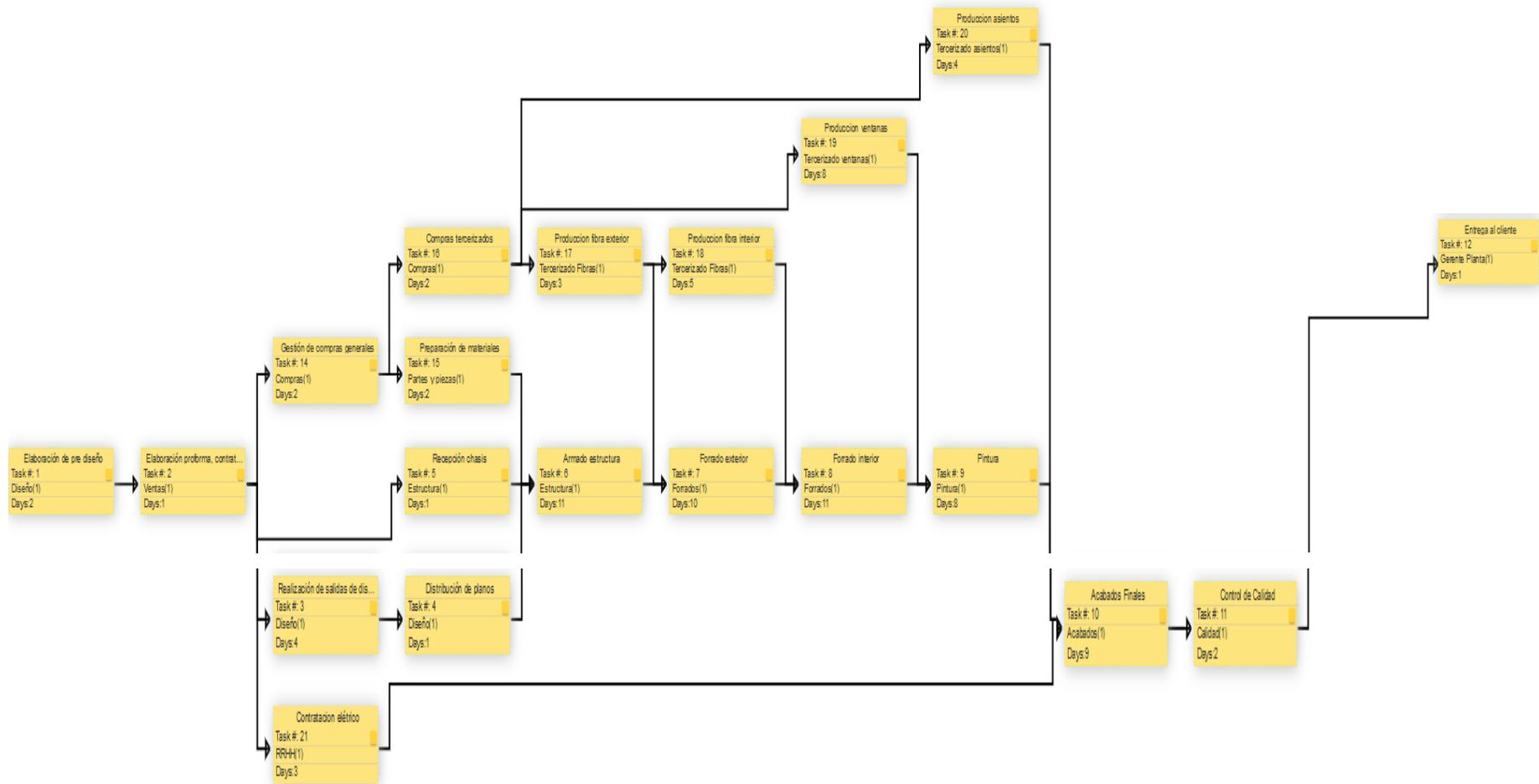
Recursos Disponibles, de Exepron.

Resource Type	Available Quantity
Acabados	1
Calidad	1
Compras	1
Diseño	1
Estructura	1
Forrados	1
Gerente Planta	1
Partes y piezas	1
Pintura	1
RRHH	1
Tercerizado asientos	1
Tercerizado Fibras	1
Tercerizado ventanas	1
Ventas	1

Resumen tareas, tiempos y responsables, de Exepron.

Task #	Milestone	Task Name	Planned Duration	Remaining Duration	Resource Type	Predecessors	Successors
21		Contratacion eléctrico	3	3	RRHH(1)	2	10
20		Produccion asientos	4	4	Tercerizado asientos(1)	16	10
19		Produccion ventanas	8	8	Tercerizado ventanas(1)	16	9
18		Produccion fibra interior	5	5	Tercerizado Fibras(1)	17	8
17		Produccion fibra exterior	3	3	Tercerizado Fibras(1)	16	7, 18
16		Compras tercerizados	2	2	Compras(1)	14	17, 19, 20
15		Preparación de materiales	2	2	Partes y piezas(1)	14	6
14		Gestión de compras genera	2	2	Compras(1)	2	15, 16
11		Control de Calidad	2	2	Calidad(1)	10	12
10		Acabados Finales	9	9	Acabados(1)	9, 20, 21	11
9		Pintura	8	8	Pintura(1)	8, 19	10

Anexo 11: DIAGRAMA PERT PARA ELABORACIÓN DE CARROCERÍAS, DE EXEPRON.



Anexo 12: SIMULACIÓN EN FLEXSIM.

Tiempos de Tareas

#	Elaboración de pre diseño	Elaboración de proforma	Elaboración de Emisión de orden de	Realización de	Distribución de	Armado de	Forrado exterior	Forrado interior	Pintura	Acabados finales	Control de calidad	Entrega al cliente
1	3	2		5	1	10	11	11	7	11	2	1
2	2	1		3	1	11	12	10	7	11	2	1
3	2	2		5	1	10	11	10	8	10	2	1
4	2	2		4	0	11	10	11	8	10	2	1
5	3	1		3	1	10	11	10	8	11	2	1
6	3	1		4	1	10	10	10	7	10	2	1
7	2	1		3	1	11	12	10	8	10	2	1
8	2	1		4	1	11	11	11	8	9	2	1
9	2	1		5	0	11	12	10	8	11	2	1
10	3	2		4	0	11	12	11	7	9	2	1
11	2	1		4	0	10	11	11	8	11	2	1
12	3	2		5	1	11	10	10	8	11	2	1
13	2	2		5	0	11	11	10	8	11	2	1
14	2	1		5	0	11	12	10	8	9	2	1

Se obtiene las distribuciones de probabilidad en ExpertFit de las tareas de la cadena crítica de acuerdo a los tiempos mostrados anteriormente. Como ejemplo se muestra la comparación de datos reales y la distribución que se calcula con ExpertFit para la tarea de elaboración de pre-diseño.

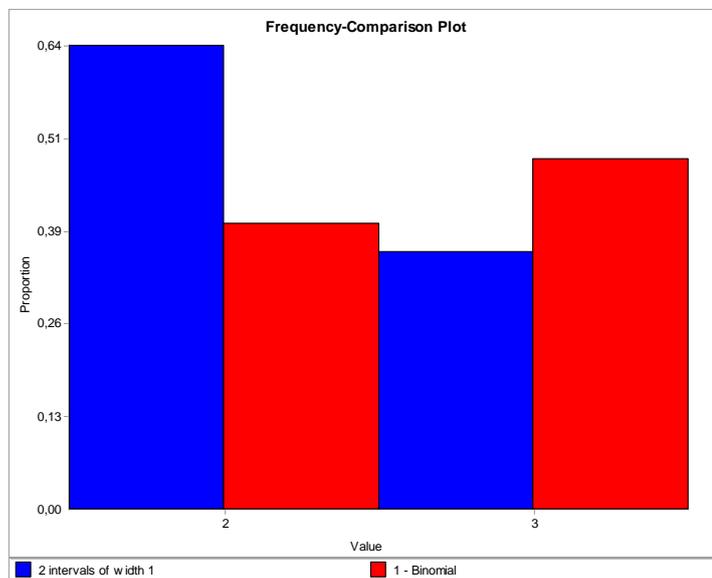


Figura: Evaluación distribución de probabilidad y datos reales, de ExpertFit.

En la siguiente Tabla se muestra el resumen de las distribuciones de probabilidad para las tareas de la cadena crítica.

Tabla: DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD CADENA CRÍTICA

Actividad	Distribución
Elaboración de pre diseño	binomial(3.000000, 78.571429, <stream>)
Elaboración de proforma, contrato y orden	duniform(1.000000, 2.000000, <stream>)
Realización de salidas de diseño	binomial(5.000000, 84.285714, <stream>)
Distribución de planos y entendimiento	bernoulli(57.142857, 1.000000, 0.000000, <stream>)
Armado de estructura	binomial(11.000000, 96.753247, <stream>)
Forrado exterior	binomial(12.000000, 92.857143, <stream>)
Forrado interior	duniform(10.000000, 11.000000, <stream>)
Pintura	binomial(8.000000, 96.428571, <stream>)
Acabados finales	binomial(11.000000, 93.506494, <stream>)
Control de calidad	NA (Tiempo 2)
Entrega al cliente	NA (Tiempo 1)

En Flexsim se ingresa el flujo de proyecto de acuerdo a la cadena crítica y los tiempos descritos con las distribuciones de probabilidad.

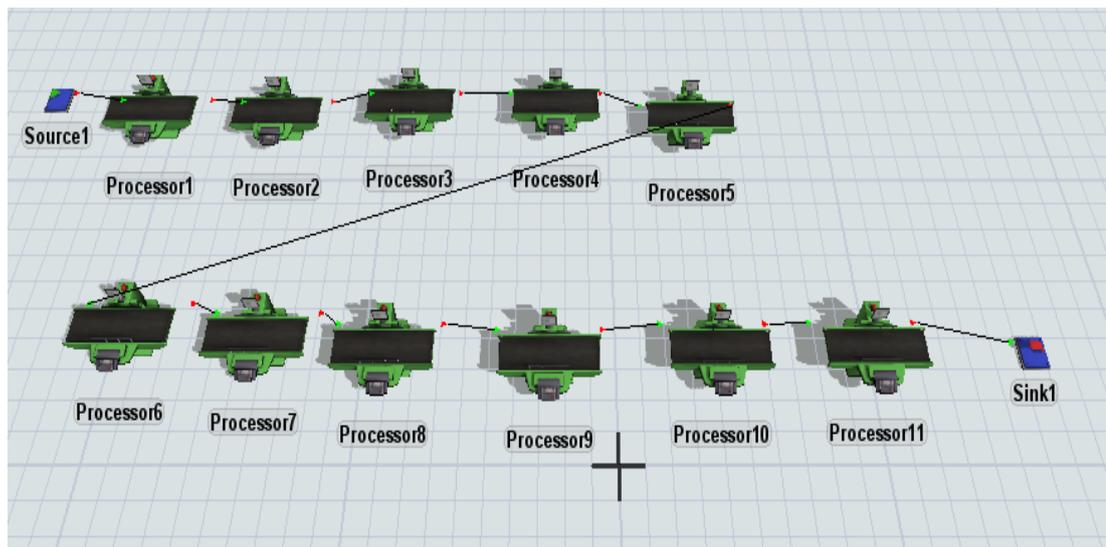


Figura: Flujo de proyecto por cadena crítica, de Flexsim.