

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Reingeniería de un proceso industrial en el sector de
la automoción

Autor: Cristina Bayona Gómez

Tutor: Paz Pérez González

Dep.de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Reingeniería de un proceso industrial en el sector de la automoción

Autor:
Cristina Bayona Gómez

Tutor:
Paz Pérez González

Dep. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Reingeniería de un proceso industrial en el sector de la automoción

Autor: Cristina Bayona Gómez

Tutor: Paz Pérez González

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia, la que me ha estado apoyando todos estos años y por los que he llegado donde estoy hoy.

A Renault y a todos y cada una de las personas que me han ayudado a realizar este trabajo.

Índice	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xii
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivos del Trabajo Fin de Grado</i>	1
1.2 <i>Estructura del documento</i>	1
2 Empresa y Descripción del Entorno Productivo	3
2.1 <i>Historia</i>	3
2.2 <i>Empresa en Sevilla</i>	4
2.2.1 <i>Estructura departamental. Organigrama</i>	5
2.2.2 <i>Distribución del Layout.</i>	6
3 Business Process Management (BPM)	8
3.1 <i>Introducción</i>	8
3.2 <i>Antecedentes del BPM</i>	10
3.3 <i>Técnica y herramienta de modelado</i>	12
3.3.1 <i>La técnica BPMN</i>	12
3.3.2 <i>Bizagi Modeler</i>	14
3.4 <i>BPM aplicado al sector de la automoción</i>	23
4 Análisis del proceso “Mecanizado de la corona de la caja TL4”. Caso práctico	24
4.1 <i>Metodología seguida</i>	24
4.1.1 <i>Información basada en la evidencia</i>	24
4.1.2 <i>Información obtenida mediante entrevista</i>	24
4.2 <i>Descripción del proceso</i>	25
4.3 <i>Modelo del proceso</i>	29
4.3.1 <i>Modelo AS-IS. Modelo estático</i>	29
4.3.2 <i>Modelo AS-IS. Modelo dinámico</i>	38
5 Propuestas de Mejora	41
5.1 <i>Modelo TO BE: Modelo estático</i>	42
5.2 <i>Modelo TO BE: Modelo dinámico</i>	42
5.3 <i>Comparativa AS-IS/TO-BE</i>	46
6 Conclusiones	48
Referencias	49
ANEXO	50

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos del modelo: Tiempos medios	30
Tabla 2. Datos del modelo: Probabilidades de operadores lógicos y distribución evento inicial	32
Tabla 3. Tabla comparativa AS-IS/TO-BE en TTH	47
Tabla 4. Comparativa AS-IS/TO-BE en Duro	47

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa Sevilla I Renault	5
Figura 2. Organigrama Factoría Renault Sevilla	5
Figura 3. Organización de trabajadores Nave B	7
Figura 4. Tipos de Tareas	15
Figura 5. Tipos de Sub-procesos	16
Figura 6. Tipos de Compuertas	17
Figura 7. Tipos de Datos	17
Figura 8. Tipos de Artefactos	18
Figura 9. Tipos de Swimlanes	18
Figura 10. Tipos de Conectores	19
Figura 11. Tipos de Eventos de Inicio	19
Figura 12. Tipos de Eventos Intermedios	20
Figura 13. Tipos de Eventos de Finalización	21
Figura 14. NIVEL 1 - Validación del proceso	22
Figura 15. NIVEL 2 - Análisis del tiempo	22
Figura 16. NIVEL 3 - Análisis de recursos	22
Figura 17. NIVEL 4 - Análisis de calendarios	22
Figura 18. Extracción de datos y modelado del proceso “Mecanizado de corona de la caja TL4”	26
Figura 19. Contenedor de piezas en bruto	27
Figura 20. Transporte de piezas en la cinta	28
Figura 21. Primer nivel del modelo estático AS-IS	33
Figura 22. Proceso blando estático	34
Figura 23. Subproceso Premecanizar estático	35
Figura 24. Proceso TTH estático	36
Figura 25. Proceso duro estático	37
Figura 26. Primer nivel del modelo dinámico AS-IS	38
Figura 27. Subproceso Proceso en blando del modelo dinámico AS-IS	38
Figura 28. Subproceso Tratamientos Térmicos del modelo dinámico AS-IS	39
Figura 29. Subproceso Proceso en duro del modelo dinámico AS-IS	39

Figura 30. Mapa AGV corona TL4	41
Figura 31. Recorrido AGV coronas	42
Figura 32. Subproceso Tratamientos Térmicos en modelo estático TO-BE	43
Figura 33. Subproceso Proceso en duro del modelo estático TO-BE	44
Figura 34. Primer nivel del modelo dinámico TO-BE	45
Figura 35. Recurso AGV en el modelo dinámico TO-BE	45
Figura 36. Primer paso simulación Bizagi – “Process Validation”	50
Figura 37. Segundo paso simulación Bizagi – “Time Analysis”	51
Figura 38. Tercer paso simulación Bizagi – “Resource Analysis”	52
Figura 39. Cuarto paso simulación Bizagi – “Calendar Analysis”	52

1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, en este capítulo se explica cuáles son los objetivos y cuál va a ser la estructura de forma genérica que se ha llevado a cabo en la realización del Trabajo Fin de Grado.

1.1 Objetivos del Trabajo Fin de Grado

Este trabajo surgió gracias a la realización de unas prácticas extracurriculares facilitadas por la Universidad de Sevilla en la Factoría de Renault S.A. Factoría de Sevilla. Así, en la rutina diaria y gracias a la ayuda de todo un departamento implicado en lo mismo, se pensó en poder analizar, modelar y simular mediante BPMN uno de los procesos con mayor tiempo de paso en la fábrica, la producción de la corona de la caja de cambio de seis velocidades. BPMN es una notación gráfica que describe la lógica de los pasos de un proceso de negocio. Ha sido diseñada para coordinar la secuencia de los procesos y los mensajes que fluyen entre los participantes de las diferentes actividades. Para realizar el análisis del proceso se han utilizado dos software comerciales de simulación, el programa de simulación Bizagi Modeler, y tras observarse una serie de limitaciones que tenía a la hora de simular, se ha utilizado el programa de simulación Arena.

1.2 Estructura del documento

El documento se ha dividido en ocho capítulos, presentándose en primer lugar, una parte teórica en la que se detalla todo lo relativo a la empresa y al entorno productivo de la fábrica analizada, así como la metodología utilizada “Modelado de Procesos de Negocio (Business Process Modeling)” para llevar a cabo el análisis del caso práctico, el cual, quedará reflejado posteriormente, con las descripciones del modelo AS-IS y TO-BE que se han llevado a cabo.

En el Capítulo 2 se hace una introducción sobre la empresa Renault S.A. y se describe el proceso elegido en el trabajo así como su entorno productivo, desde la estructura departamental hasta la distribución del Layout de las naves, que se encuentran dentro de Renault S.A Factoría de Sevilla.

En el Capítulo 3 se describe el concepto Business Process Modeling enmarcado dentro de la metodología Business Process Management. Además, se describen las herramientas que se utilizarán para el estudio del proceso, Bizagi Modeler y Arena, de forma teórica. Finalmente, se revisa la literatura sobre esta metodología aplicada al sector de la automoción encontrados en algunos artículos.

En el Capítulo 4 se detalla el caso práctico del trabajo, al igual que define el proceso que se ha modelado, es decir, el mecanizado de la corona de la caja de seis velocidades. Se han descrito las diferentes fases del modelado del proceso. Se ha observado el proceso real en la fábrica, el cual ha sido modelado en Bizagi Modeler posteriormente. Finalmente, se ha llevado a cabo la simulación del proceso, en primer lugar en Bizagi Modeler y posteriormente en Arena, con los tiempos y recursos necesarios para el mismo y se han recogido los resultados obtenidos en una tabla.

En el Capítulo 5 se exponen las propuestas de mejora que se han llevado a cabo, así como el modelado y la simulación de las mismas, mostrando finalmente los resultados y una comparativa de los mismos.

En el Capítulo 6 quedan recogidas las conclusiones obtenidas en este Trabajo Fin de Grado.

Finalmente, quedan incluidas las diversas referencias bibliográficas consultadas así como el anexo final que detalla de forma clara las distintas fases de las simulaciones tanto del modelo AS-IS (Figuras 22, 23, 24, 25) como del modelo TO-BE (ANEXO A).

2 EMPRESA Y DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO PRODUCTIVO

En este capítulo se muestra el contexto en el que se ha llevado a cabo el presente trabajo, es decir, información de la empresa donde se ha realizado el estudio; empezando desde una breve introducción histórica, hasta conocer la distribución de la Factoría de Renault Sevilla así como la descripción del entorno productivo. Finalmente se va a describir tanto la gran estructura departamental, en la cual está dividida la fábrica (organigrama), así como la distribución del Layout.

2.1 Historia

La expansión de las multinacionales de gran alcance en los mercados internacionales es un proceso en curso, y esto se aprecia en la industria automovilística. Hace ya varias décadas, los fabricantes de automóviles dejaron de centrar sus ganancias exclusivamente en las exportaciones extranjeras para comenzar a desarrollar una amplia gama de actividades de valor añadido de producción también fuera de las fronteras. Estas actividades se encuentran cerca de los mercados de destino prometedores y al lado de la ventaja de estar más cerca del cliente final que supone un ahorro de costes mediante el uso de mano de obra local. Elegir el momento y lugar adecuados requiere un fuerte análisis interno y externo que puede revelar la mejor estrategia de entrada en el mercado. Aquí radica el claro éxito de Renault. Un ejemplo de ello es el citado caso de Renault en Rumanía [1].

La casa Renault fue fundada en 1898 por Louis Renault, cuya aventura industrial estuvo enmarcada desde un principio en la innovación tecnológica y en sus fábricas. Su primer pedido, en 1905, se trató de 250 taxis con el cual las fábricas adoptaron la producción en serie. Posteriormente, en 1913, su fundador instauró el taylorismo en sus fábricas con el fin de aumentar la productividad y así poder garantizar la diversificación de la producción en sus líneas. Este fue un hecho novedoso en Francia.

Dicha empresa contribuyó en gran medida en la guerra fabricando camiones, camillas, ambulancias, obuses, carros FT17, entre otros; hecho que convirtió en 1919 a Louis en el primer industrial privado de Francia. Por el año 1975, las crecidas llegaron hasta alcanzar el 55% en la cuota de ventas fuera de Francia. Por entonces, el Renault 5 se trataba del modelo económico y práctico más vendido, siendo por otro lado, el Renault 16, el automóvil de alta gama.

Durante los 80, se produjo una gran aceleración con respecto a la renovación de la gama Renault con dos nuevos modelos, el Renault 25 y el Renault Espace. Es entonces cuando la firma debuta en la competición deportiva de la Fórmula 1 empezando a sufrir déficits debido principalmente a tres factores, como son: la política de expansión, el elevado número de efectivos y los altos costes. Debido a todo lo mencionado, la empresa tuvo que centrarse en una política de reducción de costes logrando en 1987 unos beneficios de 3.700 millones de francos. Esto le llevó a poder iniciar una revolución de la “calidad total” y contar con el medio ambiente a la hora de la fabricación de sus vehículos. Dentro de esta época quedan incluidos vehículos como el Renault 19 y el Renault Clio.

En julio de 1996 se privatiza la empresa y tres años más tarde, en 1999, se produce la alianza con la casa Nissan, hecho que les permitió renovar y avanzar en su producción con el Renault Mégane, Renault Laguna etc. El éxito de la marca en las competiciones de Fórmula 1 les llevó a consolidarse y aceleró la internacionalización con la compra de Samsung Motors y Dacia. Es con el Renault Logan cuando conquistan el núcleo de los mercados emergentes. Seguidamente con los lanzamientos

de nuevos productos como el Nuevo Mégane en 2008 apostaron por aumentar las prestaciones del vehículo eléctrico, colaborando con Better Place y EDF, presentando además un modelo Scénic con pila combustible.

El presidente de Nissan, Carlos Ghosn, sustituyó a Louis Schweitzer situado a la cabeza de Renault, llevando a cabo el plan Renault Contrato 2009, que sitúa al grupo Renault como el más rentable a nivel europeo.

Todo ello ha llevado a la empresa hasta la actualidad. A día de hoy permiten, con los lanzamientos de los vehículos eléctricos, que estos puedan estar al alcance de todos como Kangoo Z.E. y Fluence Z.E., seguidos por Twizy y Zoe [2].

Dentro del contexto de la globalización, la estrategia de las multinacionales consiste en combinar los objetivos de renovación de suministro constante (no sólo a través de la innovación tecnológica, sino también, a través de la innovación organizativa y comercial) y de la racionalización de la producción (reducción de los costes de producción). La dimensión financiera está estrechamente vinculada a estas estrategias, como la desregulación financiera, que ha generado una fuerte presión sobre las empresas, lo que ha llevado a aumentar el valor para los accionistas. El impacto de la actual crisis financiera y económica sobre la estrategia y la gestión de la innovación en las grandes empresas industriales presenta el resultado de una investigación que se logró en Francia en 2009 y 2010 en las empresas como Renault, Thales, General Electric, Lesieur, PSA, Saint-Gobain, Valeo, y Arcelor Mittal. Se demuestra que las empresas racionalizan los gastos en I + D, acentúan sus estrategias de innovación abierta, desarrollan un uso estratégico de los derechos de propiedad intelectual y tratan de poner en práctica nuevas vías de innovación, orientadas hacia las estrategias de bajo coste de explotación y la acumulación (tecnologías limpias) de sus conocimientos en capital [4].

2.2 Empresa en Sevilla

Desde 1966, Sevilla cuenta con la factoría de cajas de velocidades, con una superficie de 211.842 m². La fabricación de cajas de velocidades, coloquialmente conocidas como cajas de cambio, requiere instalaciones de alta precisión y elevada capacidad de producción en serie. Todo está completamente automatizado, incluyendo las líneas tecnológicas como la soldadura láser por control ultrasonido, el control por visión artificial y la última generación de bancos de prueba.

La factoría de Sevilla produce principalmente dos grandes familias de cajas de cambio. La familia J, que engloba las cajas de cinco velocidades, y, la familia TL4, que recoge aquellas cajas con seis velocidades. Algunos modelos de los que se fabrican en esta factoría son: JH, JH BASE, TL4, JE3, JS3 y JHQ. Existen tantos modelos de cajas como el cliente desee. Renault posee 30 fábricas clientes repartidas en cuatro continentes y cuenta además con una elevada exportación del 88% de su producción.

La factoría de Sevilla queda dividida en dos centros de trabajo diferentes. El primero de ellos, que recibe el nombre de Sevilla I, es el lugar reservado para la fabricación de las piezas tales como piñones, coronas, árboles etc. Es por tanto, el almacén de la materia prima. Una vez terminadas dichas piezas en Sevilla I, son trasladadas al otro centro de trabajo, que recibe el nombre de Sevilla II, lugar en el cual se lleva a cabo el ensamblado y montaje de la caja de cambio, así como la fabricación de los carter's.

A lo largo del presente trabajo, el enfoque está centrado principalmente en Sevilla I, debido a que es allí donde se realiza la fabricación de la corona de la caja de seis velocidades. Se muestra a continuación el mapa de dicha fábrica (Figura 1) siendo la Nave B el lugar reservado para la fabricación de la corona de la TL4, así como la nave de Tratamientos Térmicos, donde se realiza uno de los subprocesos de nuestro estudio [2].

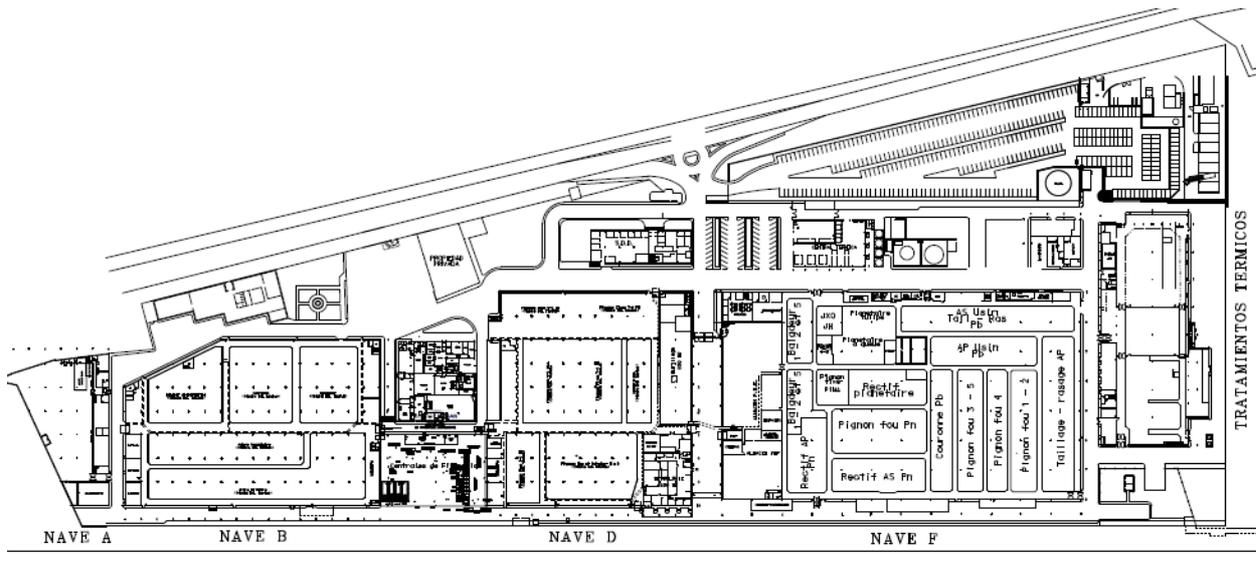


Figura 1. Mapa Sevilla I Renault

2.2.1 Estructura departamental. Organigrama

Sevilla I está liderada y organizada de forma jerárquica tal y como se muestra a continuación (Figura 2), dónde queda recogido a modo de esquema los distintos niveles departamentales de la factoría, encabezado por la posición del director o del subdirector, así como los distintos departamentos con los que cuentan tales como calidad, recursos humanos comunicación etc.

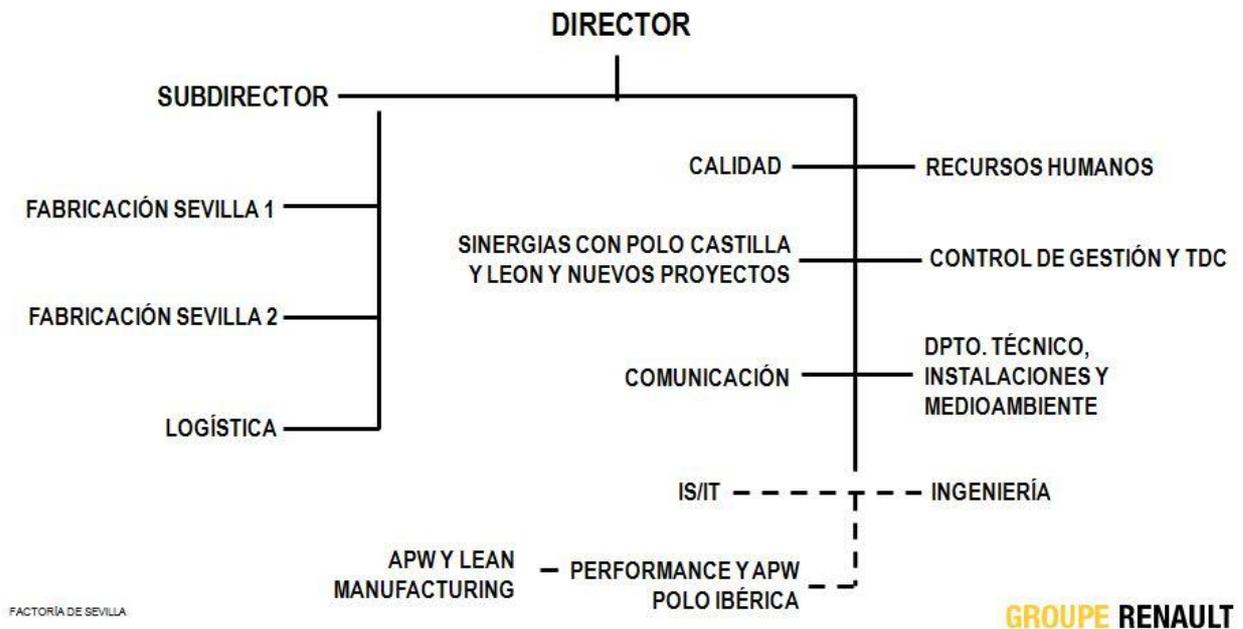


Figura 2. Organigrama Factoría Renault Sevilla

Sevilla I está formado por una serie de talleres encargados del mecanizado de todas las piezas que posteriormente van a ser montadas en Sevilla II. Dichos talleres son: tratamientos térmicos, piñonería J, árboles primarios y secundarios de J, coronas J, desplazables J, nave B, nave D, mantenimiento.

2.2.2 Distribución del Layout.

Sevilla I consta de cuatro naves como se apreciaba anteriormente (Figura 1), diferenciadas todas ellas en base al trabajo que se realiza en cada una de ellas. Estas son [3]:

- Nave A: es el lugar reservado para el almacén de la fábrica.
- Nave B: lugar donde se lleva a cabo el mecanizado de todos los elementos de la caja de cambio de seis velocidades excepto de los piñones, que se mecanizan en la nave D. Entre las piezas fabricadas se encuentran, los árboles primario y secundario, las cajas diferenciales, los desplazables y las coronas. La Nave B consta de un jefe de taller, y tres jefes de unidad repartidos en tres turnos, así como los tres operarios de la línea de blando de coronas y los tres operarios de duro de la misma (Figura 3). Sólo se ha querido reflejar los trabajadores implicados en la línea de corona, pero hay una similitud en cada taller que forma tanto la Nave B como las demás.
- Nave D: aquí se llevan a cabo algunos de los procesos de mecanizado de la caja de velocidad TL4, además del proceso de mecanizado de los piñones locos de la caja de cambio de seis velocidades.
- Nave F: es la nave en la que se llevan a cabo los distintos mecanizados de todas las piezas que componen la caja de cambio J, así como otras piezas que son comunes a la otra caja, fosfatado y algún tratamiento especial que se hace tanto para las piezas que componen la caja J como la TL4. Esta nave cuenta además con varios talleres: uno de ellos es encargado de realizar los árboles, tanto primarios como secundarios; el taller encargado de las coronas; el taller encargado de los piñones que forman la caja de cambio, tanto los piñones de primera a quinta como el piñón de marcha atrás; el taller de los desplazable; además de talleres propios como exportación, calidad, etc.
- Tratamientos térmicos: es el lugar en el que se llevan a cabo todos los procesos que necesitan ser tratados en hornos, carbonizados y posteriormente lavados para que puedan aumentar sus propiedades. Es aquí donde se alcanzan las mayores temperaturas de la fábrica.

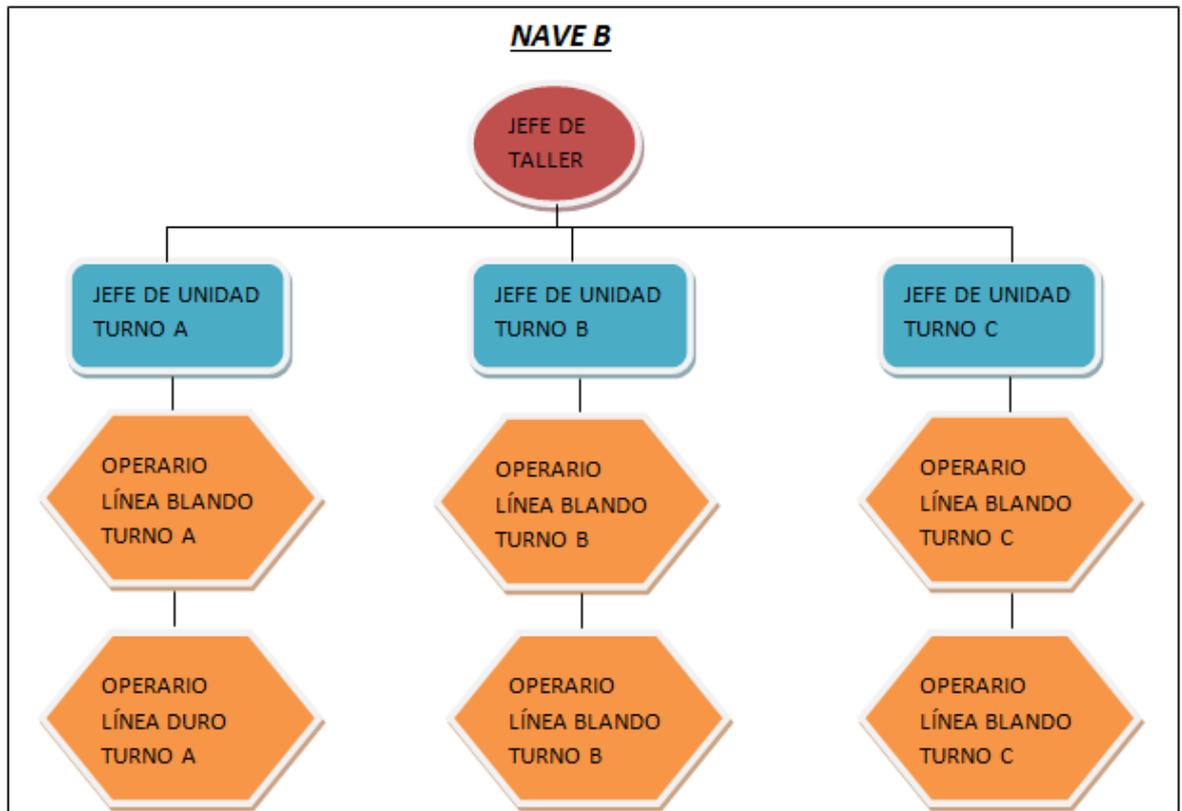


Figura 3. Organización de trabajadores Nave B

3 BUSINESS PROCESS MANAGEMENT (BPM)

En el presente apartado se procede a introducir tanto el Business Process Modeling (BPModeling) como el Business Process Management (BPM), para poderlos diferenciar claramente. Seguidamente se llevará a cabo una explicación detallada de las técnicas y herramientas de modelado de forma teórica, Business Process Model and Notation (BPMNotation), como de la herramienta de software Bizagi Modeler que ha sido utilizada como soporte informático en el Trabajo. Para concluir, se mostrará la bibliografía referente a este concepto consultada dentro del sector de la automoción.

3.1 Introducción

Un proceso de negocio se define como el conjunto de actividades empresariales necesarias para alcanzar un objetivo de negocio. Quedan incluidos en esta definición tanto el flujo como el uso de información y recursos. A su vez, se entiende como proceso, todos los eventos, actividades y decisiones que añaden valor a una organización y/o sus clientes, involucrando actores y recursos. Todo proceso de negocio se inicia con un evento que produce un valor añadido, implicando una serie de tareas y actividades e involucrando tanto actores como recursos para conseguir transformar la información y los materiales.

El modelado de procesos de negocio se utiliza para comunicar una amplia variedad de información a una amplia variedad de públicos. El modelo de un proceso es la abstracción de un determinado proceso del mundo real desarrollado con el propósito de reducir la complejidad. El modelo agrega información y documenta sólo los aspectos relevantes del mundo real. Los modelos son desarrollados sobre un caso específico para una audiencia específica y con un propósito específico. Son muy útiles ya que proporcionan un lenguaje común para denominar y enmarcar un proceso. A su vez, integran procesos con otros artefactos. También permiten validar y probar la abstracción del proceso y puede usarse para comparar medidas de mejora.

La gestión de procesos de negocio (BPM) está basada en principios, técnicas, métodos y herramientas para diseñar, analizar, rediseñar, ejecutar y monitorizar los procesos de negocio. Es una ciencia que estudia cómo trabaja una organización para asegurar resultados constantes y obtener ventajas de oportunidad de mejora como son la reducción de costes, de tiempos y de errores.

Para aclarar el concepto de BPM lo podemos comparar con otras dos disciplinas como son [5]:

- El Business Process Reengineering (BPR) consiste en la eliminación de los procesos completos para poder empezar desde cero. Da una orientación completa por procesos, los cuales son óptimos y añaden valor al producto. Tiene como único inconveniente la difícil aplicación en las empresas debido principalmente a dos motivos: en primer lugar la radicalidad y en segundo lugar, la no existencia de una metodología, técnica o herramienta para llevarlo a cabo.
- Continuous Process Improvement permite una identificación y resolución de problemas de forma incremental, problema por problema y solución por solución. Mantiene la estructura por procesos de la empresa y es sencillo de llevar a cabo ya que proporciona una solución específica a cada problema. Tiene como único

inconveniente que sólo proporciona una solución parcial, siendo miope al proceso completo.

El Business Process Management tiene un ciclo de vida de 6 etapas o fases (BPM Lifecycle) [8]:

1. Identificación del proceso. Contiene la arquitectura del proceso, aquellos procesos relevantes de la empresa y sus relaciones. Se lleva a cabo mediante medidas de coste (coste de ejecución, uso de recursos y residuos), tiempo (tiempo de ciclo, tiempo de espera y tiempos muertos) y calidad (ratios de error, nivel de servicio y satisfacción del cliente).

Los objetivos son definir el equipo de gestión del proyecto BPM y el desarrollo de la arquitectura, mediante la definición de los procesos de la empresa con alto/medio nivel de abstracción, la definición de las prioridades de dichos procesos, la selección de los procesos objetos de BPM y la identificación del resto de Equipos del Proyecto de BPM.

2. Descripción del proceso. Se encarga de organizar al equipo de personas que trabajan en el proceso así como de obtener la información sobre un proceso y organizarla en forma de un modelo “AS-IS”. El modelado empieza cuando ya se cuenta con la información sobre los procesos.

Posee una serie de objetivos: definir el escenario, obtener la información, modelar, asegurar la calidad del modelado con la verificación, la validación y la certificación.

3. Análisis del proceso. Está formado por el análisis cualitativo (análisis del valor añadido, de la raíz del problema y la documentación y análisis del impacto) y el análisis cuantitativo (medidas, análisis de flujo y simulación).

Los objetivos del análisis del proceso son: identificar los puntos débiles de los procesos; transporte innecesario, inventarios, esperas, recursos ociosos o cuellos de botella, errores, malentendidos, incidentes, problemas, pasos innecesarios, defectos y otros eventos no deseados. Y, medir para analizar, empezando por relacionar los procesos con objetivos medibles, cuantificando tanto los costes de los procesos como los beneficios de la mejora; siendo los objetivos principales tanto la efectividad (satisfacer las necesidades de los clientes) como la eficiencia (minimizar coste y maximizar beneficios) del proceso.

4. Rediseño del proceso. Describe el proceso “TO-BE”, el cual se encarga de crear un nuevo proceso con una mejora continua a través de las heurísticas al experimentar un cambio radical con un diseño basado en el producto. Es una actividad considerada como creativa, no siempre llevada a cabo de forma sistemática. Existen métodos que tratan de sistematizar el rediseño para no perder el potencial del mismo. El rediseño consiste en repensar y reorganizar los procesos de negocio para que funcionen mejor. Existen dos tipos de rediseño, las heurísticas para el rediseño de procesos (mejora continua) y el diseño basado en producto (mejora radical).

Posee una serie de objetivos: repensar y reorganizar los procesos de negocio para un mejor funcionamiento. Además, los adapta a la innovación/actualidad. Transforma actividades basadas en la costumbre en actividades con un alto valor añadido y por último, realiza la organización orientada al cliente.

Existen dos tipos de rediseño:

- Mejora continua/puntual: genera nuevos procesos (proceso TO-BE) introduciendo mejoras en el proceso AS-IS. Ésta se suele llevar a cabo a partir de métodos heurísticos.
 - Mejora radical: genera nuevos procesos TO-BE desechando por completo el proceso AS-IS.
5. Implementación del proceso. Se lleva a cabo a partir de la gestión del cambio organizacional y de la automatización del proceso.
 6. Monitorización del proceso. Incluye el control de cambios y la identificación de errores y desviaciones con respecto al modelo planificado.

Los modelos de procesos de negocios añaden valor a la organización para favorecer la comprensión del proceso. Además identifican, previenen e incluso mejoran los problemas.

Un proceso de negocio está formado por una serie de elementos [7]:

- Eventos. Ocurren de forma automática y sin duración. A su vez activan la ejecución de una serie de actividades.
- Actividades. Son activadas por eventos y tienen una duración determinada.
- Decisiones. Son los puntos del proceso en el que una actitud tomada afecta a la evolución del proceso.
- Actores. Son personas, organizaciones o sistemas que siguen el rol del cliente, es decir, aquel que consume el producto o servicio final.
- Objetos. Pueden ser físicos (equipos, materiales, productos y documentos) o inmateriales (documentos y archivos electrónicos).
- Salidas. Son los productos o servicios finales. Estas pueden ser negativas (aquellas en las que no se alcanza el objetivo previsto) o positivas (son las que añaden valor a la organización).

Los objetivos del modelado son [7]:

1. Conocer el proceso AS IS, es decir, el proceso tal y como es.
2. Proponer el proceso TO BE, cómo podría ser el proceso.
3. Descripción del proceso, con ello se refiere al modelo estático.
4. Análisis del proceso, o más conocido como, la simulación del proceso o modelo dinámico.

3.2 Antecedentes del BPM

Para entender mejor por qué las organizaciones se involucran en Business Process Management (BPM) y cuáles son los beneficios que les aportan, vale la pena hacer una revisión histórica para ver cómo surgió y cómo ha ido evolucionando.

La idea clave de BPM es centrarse en los procesos para organizar y gestionar el trabajo en una organización. Esta idea puede parecer intuitiva y sencilla a primera vista. De hecho, si uno se refiere

a la calidad de un producto o servicio en particular y de la velocidad de su entrega a un cliente, puede ser interesante considerar los mismos pasos que son necesarios para producirlo. La metodología sufrió varios pasos evolutivos antes de que esta idea se convirtiera en parte integral de las estructuras de trabajo de las organizaciones.

Hacia el final de la década de 1980 las grandes compañías americanas como IBM o Ford se dieron cuenta de que su énfasis en la optimización funcional estaba creando ineficiencias en sus operaciones que estaban afectando a su competitividad, hecho que implica la posible consideración de la orientación por procesos, que es la que se basa el BPM.

Uno de los eventos de vanguardia para el desarrollo de BPM fue la visita de Ford a Mazda en 1980. Durante la visita a las plantas de Mazda, una de las cosas que los ejecutivos de Ford observaron fue que a las unidades dentro de Mazda parecía faltarle efectivos en comparación con las unidades dentro de Ford, sin embargo, funcionaban con normalidad. Después de una comparación más detallada con Mazda, Ford llevó a cabo varios cambios en su propio proceso de compra.

A raíz de esta nueva puesta a punto, Ford logró reducir su fuerza de trabajo en cuentas por pagar de aproximadamente 500 personas a 120 personas (una reducción de 76%). Este hecho guió a los administradores de las empresas para considerar los procesos completos, cuando se trata de mejorar el funcionamiento de su negocio, en lugar de ver funciones aisladas de trabajo o un negocio particular.

En la década de 1990 aparecieron numerosos libros y artículos que trataban sobre el rediseño de procesos de negocio, esto provocó que compañías de todo el mundo revisaran y rediseñaran sus procesos. Pero a finales de esta misma década las compañías dejaron de apoyarse en el rediseño de procesos, por motivos como el mal uso del concepto, el radicalismo o exceso.

Posteriormente, dos eventos clave revivieron algunas de las ideas detrás de BPR y sentó las bases para el surgimiento de Business Process Modeling. En primer lugar, los estudios empíricos mostraron que las organizaciones que estaban orientadas a procesos, es decir, organizaciones que buscaban mejorar procesos como base para la obtención de la eficiencia y la satisfacción de sus clientes, lo hicieron mejor que las organizaciones no orientadas a procesos. En segundo lugar, gracias a los diferentes tipos de sistema, como Enterprise Resource Planning (ERP) y sistemas de gestión de flujo de trabajo (WfMSs), demostraron la importancia del Business Process Modeling.

En cuanto a las mejoras, BPM las lleva a cabo en procesos completos, no en actividades puntuales. Se definen como procesos, conocidos como “Proceso de Negocio”, los eventos, actividades y decisiones que añaden valor para una organización y/o sus clientes involucrando actores y recursos; como es el caso de hacer un presupuesto, atender un pedido o resolver una incidencia.

Las empresas que implantan BPM sacan a la luz los puntos débiles y fortalecen las actividades más importantes, lo que permite que las empresas sean más flexibles, competitivas y eficientes. Además, supone una tremenda ventaja competitiva ya que muchas empresas y organizaciones están adoptando el uso de Business Process Management para no perder la competitividad frente al resto de empresas de su sector. Esto se debe a que, además de la superior potencia y flexibilidad operacional que aporta el BPM, se le añade un rápido ahorro de costes [8].

3.3 Técnica y herramienta de modelado

3.3.1 La técnica BPMN

El modelado de procesos de negocio se ha establecido como el estándar para modelar los procesos de negocio. Proporciona una notación estándar fácilmente comprensible que soporta la gestión de procesos de negocio al tiempo que puede representar procesos de semántica compleja. Sin embargo, a pesar de las diversas ventajas de BPMN, que puede conducir a inconsistencias, ambigüedades y cosas incompletas dentro de los modelos desarrollados [5].

El objetivo principal de BPMN es proporcionar una notación de fácil comprensión para todos los usuarios de la empresa. Tiene como intención estandarizar un modelo de proceso de negocio consiguiendo de este modo, proporcionar un medio sencillo de comunicación de la información de procesos de negocios.

Como ya se ha definido anteriormente en el apartado 3.1, todo proceso de negocio empieza con un evento, produciendo posteriormente un valor añadido (output) implicando unas tareas o actividades, lo que involucra unos actores y recursos capaces de transformar tanto información como materiales. La forma en la que el proceso esté diseñado y realizado influye de forma directa tanto en la calidad o eficacia como en la eficiencia, marcando la diferencia entre dos empresas con el mismo producto/servicio que se encargarán de competir por el modo de realizar sus procesos y no sólo en procesos de cara al cliente, sino en sus procesos internos. BPMN permite obtener una representación del proceso que lo permita analizar.

BPMN permite diferentes niveles de modelado [7]:

1. Mapas de proceso: son diagramas simples de flujo de las actividades, y las decisiones más generales.
2. Descripción de proceso: incluye más información como los recursos y la información.
3. Modelo de proceso: diagrama detallado con información suficiente para analizar, simular o incluso automatizar el proceso.

Existen varios tipos de modelos BPMN [7]:

- Los elementos básicos de BPMN, que incluyen los definidos en los paquetes de infraestructura, fundación, común y de servicio.
- Diagramas de procesos: que incluyen los elementos definidos en los paquetes proceso, actividades, datos e interacción humana.
- Diagramas de colaboración: que incluyen herramientas y flujos de mensajes.
- Diagramas de conversación, que incluyen herramientas, conversaciones y enlaces de conversación.

La metodología BPMN cuenta en su organización con los siguientes ítems [8]:

- **Tipos de procesos BPMN.** Como alternativa a los diferentes modelos BPMN, se definen tres subclases de conformidades: la *descriptiva*, que hacer referencia a los elementos y atributos visibles utilizados en el modelado de alto nivel; la *analítica*, que contiene todo lo detallado en la subclase anterior además de aproximadamente la mitad de las construcciones del total de la clase de conformidad del modelado de procesos. Ambos se centran en elementos visibles y en un subconjunto mínimo de atributos/elementos de apoyo. Finalmente diferenciamos la tercera subclase, denominada *común ejecutable*, la cual se centra en las necesidades para los modelos de procesos ejecutables.

- **Elementos de los procesos de BPMN.** El conjunto de tipos de conformidad de modelado de procesos consta de elementos de diagrama de colaboración y proceso, incluyendo todos los tipos de tareas, subprocesos incorporados, llamadas de actividad, puertas de enlace, eventos (inicio, intermedio y fin), líneas, participantes, objetos de datos (DataInput y DataOutput), mensajes, grupos, anotaciones de textos, flujos de secuencia (condicionales y predeterminados) y de mensaje, conversaciones (limitado a agrupaciones de flujo de mensajes y correlaciones asociadas), correlaciones y asociaciones.
- **Apariencia visual.** Es clave en BPMN la elección de formas e iconos utilizados para los elementos gráficos identificativos. Tiene como finalidad crear un lenguaje visual estándar que todos los encargados del modelado de procesos reconozcan y comprendan.
- **Conformidad estructural.** Una implementación que crea y muestra diagramas BPMN irá en concordancia con las especificaciones y restricciones respecto a las conexiones y otras relaciones diagramáticas entre los elementos gráficos. La implementación debe asegurar la correspondencia entre las conexiones y los valores de esos atributos.
- **Semántica de procesos.** Define muchos conceptos semánticos utilizados en la definición de procesos y los asocia con gráficos de elementos, marcadores y conexiones. En la medida en que una implementación proporcione una interpretación del diagrama BPMN como una especificación semántica de proceso, la interpretación debe ser coherente con la interpretación semántica especificada.
- **Atributos y asociaciones de modelos.** Define un número de atributos, siendo la mayoría puramente representativos y otros con representaciones obligatorias, los cuales no se representan o sólo de forma opcional. Por otro lado, encontramos las propiedades de los elementos semánticos representados por los gráficos de elementos, marcadores y conexiones. Para cada atributo obligatorio, una implementación conforme deberá proporcionar algún mecanismo por el cual los valores de ese atributo o propiedad se puedan crear y mostrar. Este mecanismo debe permitir al usuario crear o ver estos valores para cada elemento BPMN especificado para tener ese atributo o propiedad. Cuando una representación gráfica para ese atributo es especificado como requerido, significa que la representación gráfica debe ser utilizada. Cuando una representación gráfica para un atributo o propiedad se especifica como opcional, la implementación puede utilizar una representación gráfica o algún otro mecanismo. Si se utiliza una representación gráfica, debe ser la representación especificada. Cuando no haya representación para ese atributo o propiedad, la implementación puede utilizar una representación gráfica o algún otro mecanismo. Si se utiliza una representación gráfica, no conducirá con el gráfico especificado.
- **Elementos ampliados y opcionales.** No se requiere una implementación conforme para apoyar cualquier elemento o atributo no normativo o informativo. En el caso en el que esta especificación defina una característica como "opcional", especifica si la opción está en: cómo se mostrará, si se mostrará o si se admite la función. No se requiere una implementación conforme para soportar ninguna característica cuyo soporte se especifique que es opcional.
- **Intercambio visual.** Cuenta con el objetivo principal de proporcionar un formato de intercambio que se pueda utilizar para intercambiar BPMN (tanto el modelo de dominio

como el diagrama) entre diferentes herramientas. Por ejemplo, las definiciones de procesos empresariales creadas en el entorno de un proveedor las utilizan en el entorno de otros proveedores.

3.3.2 Bizagi Modeler

Los modelos de procesos de negocios se suelen modelar a partir de programas informáticos. El programa llamado Bizagi Modeler es uno de los más utilizados y conocidos, es por ello por lo que se ha utilizado para el estudio del Trabajo. Dicho programa permite modelar un proceso mediante un diagrama de flujo de proceso [9].

Los elementos necesarios para definir un modelo de procesos de los que está compuesto el programa se explican a continuación [10]:

- **Tareas:** es una actividad atómica dentro de un flujo de proceso. Se utiliza cuando el trabajo en el proceso no puede ser desglosado a un nivel más bajo de detalle. Existen varios tipos (Figura 4):
 - *Tarea de usuario:* es una tarea de workflow típica donde una persona ejecuta con la asistencia de una aplicación de software.
 - *Tarea de servicio:* es una tarea que utiliza algún tipo de servicio que puede ser Web o una aplicación automatizada.
 - *Tarea de recepción:* es una tarea diseñada para esperar a llegada de un mensaje por parte de un participante externo (relativo al proceso).
 - *Tarea de envío:* es una tarea diseñada para enviar un mensaje a un participante externo (relativo al proceso).
 - *Tarea de Script:* es una tarea que se ejecuta por un motor de procesos de negocio. El usuario define un script en un lenguaje que el motor pueda interpretar.
 - *Tarea manual:* es una tarea que espera ser ejecutada sin la asistencia de algún motor de ejecución de procesos de negocio o aplicación.
 - *Tarea de regla de negocio:* ofrece un mecanismo para que el proceso provea una entrada a un motor de reglas de negocio y obtenga una salida de los cálculos que realice el mismo.
 - *Ciclo multi-instancia:* las áreas pueden repetirse secuencialmente comportándose como un ciclo. El ciclo multi-instancia permite la creación de un número deseado de instancias de actividad que pueden ser ejecutadas de forma paralela o secuencial.
 - *Ciclo estándar:* las tareas pueden repetirse secuencialmente comportándose como un ciclo. Esta característica define un comportamiento de ciclo basado en una condición booleana. La actividad se ejecutará siempre y cuando la condición booleana sea verdadera.



Figura 4. Tipos de Tareas

- Subproceso: es una actividad compuesta que se incluye dentro de un proceso, es decir, puede ser desglosada a niveles más bajos, incluyendo figuras y elementos dentro de ella. Es además una actividad cuyos detalles internos han sido modelados utilizando actividades, compuertas, eventos y flujos de secuencia. Es el que parte de un proceso principal que, para hacer más claro el proceso se modela en un diagrama diferente. No se pueden modelar los recursos, pero sí se puede simular. Podemos encontrar varios tipos (Figura 5):
 - *Sub-proceso reusable*: identifica un punto en el flujo donde se invoca un proceso pre-definido. Los procesos reusables se conocen como “Actividades de llamada” en BPMN. Es el que puede aparecer varias veces en un proceso. A diferencia del anterior permite el modelado de los recursos, pero no se puede simular dentro del proceso, sino que hay que simularlo como un proceso por separado.
 - *Sub-proceso de evento*: es lanzado por un evento. No es parte del flujo normal de su proceso padre, por tanto, no hay flujos de entrada y salida.
 - *Transacción*: es un sub proceso cuyo comportamiento es controlado a través de un protocolo de transacción incluyendo los tres resultados básicos de una transacción (terminación exitosa, terminación fallida y evento intermedio de cancelación).
 - *Ad-Hoc sub-proceso*: es un grupo de actividades que no requieren relaciones de secuencia. Se puede definir un conjunto de actividades, pero su secuencia y número de ejecuciones es determinada por sus ejecutantes.
 - *Ciclo estándar*: comportamiento de ciclo basado en una condición booleana. La actividad se ejecutará siempre y cuando la condición booleana sea verdadera.
 - *Ciclo multi-instancia*: permite la creación de un número deseado de instancias de actividad que pueden ser ejecutadas de forma paralela o secuencial.

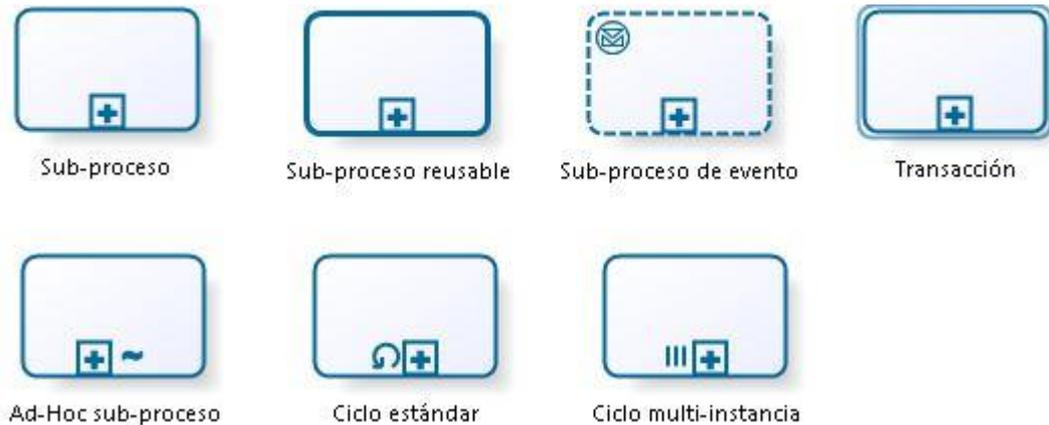


Figura 5. Tipos de Sub-procesos

- Compuertas: se utilizan para controlar la divergencia y convergencia de flujos de secuencia. Determinan ramificaciones, bifurcaciones, combinaciones y uniones en el proceso. Esto quiere decir que hay un mecanismo que permite o limita el paso a través de la misma. Podemos distinguir varios tipos de compuertas (Figura 6):
 - *Compuerta exclusiva:* existen dos tipos; de divergencia, que se utiliza para crear caminos alternativos dentro del proceso, pero solo uno se selecciona; y de convergencia, que se utiliza para unir caminos alternativos.
 - *Compuerta basada en eventos:* representa un punto de ramificación en los procesos donde los caminos alternativos que siguen la compuerta están basados en eventos que ocurren. Cuando el primer evento se dispara el camino que sigue ese evento se usará siendo los caminos restantes deshabilitados.
 - *Compuerta paralela basada en eventos:* es una variación de la compuerta basada en eventos que se utiliza únicamente para instanciar procesos. Si uno de los eventos de la configuración de la compuerta ocurre, se crea una nueva instancia del proceso no debiendo tener flujos de entrada.
 - *Compuerta paralela:* existen dos tipos; de divergencia que se utiliza para crear caminos alternativos sin evaluar condición alguna; y de convergencia, que se utiliza para unir caminos alternativos esperando todos los flujos que ocurren en ellas antes de continuar.
 - *Compuerta compleja:* existen dos tipos; de divergencia, que se utiliza para controlar puntos de decisión complejos en el proceso creando caminos alternativos dentro del proceso; y de convergencia, que permite continuar al siguiente punto del proceso cuando una condición de negocio se cumple.
 - *Compuerta inclusiva:* existen dos tipos; de divergencia, que representa un punto de ramificación en donde las alternativas se basan en expresiones condicionales; y de convergencia, que se utiliza para unir una combinación de caminos paralelos alternativos.



Figura 6. Tipos de Compuertas

- Datos: contamos con dos modelos (Figura 7):
 - *Objeto de datos*: provee información acerca de cómo los documentos, datos y otros objetos se utilizan y actualizan durante el proceso.
 - *Depósito de datos*: provee un mecanismo para que las actividades recuperen o actualicen información almacenada que persistirá más allá del scope del proceso.



Figura 7. Tipos de Datos

- Artefactos: constan de los siguientes tipos (Figura 8):
 - *Grupo*: provee de un mecanismo visual para agrupar elementos de un diagrama de manera informal.
 - *Anotación*: mecanismo para que un modelador provea información adicional al lector de un diagrama BPM.
 - *Imagen*: permite la inserción de imágenes almacenadas en su ordenador al diagrama.
 - *Encabezado*: muestra las propiedades del diagrama y se actualiza igualmente de manera automática con la información contenida allí.
 - *Texto con formato*: permite la inserción de un área de texto enriquecido al diagrama para proveerlo de información adicional.
 - *Artefactos personalizados*: ayudan a definir y utilizar sus propios artefactos. Los artefactos proveen la capacidad de mostrar información adicional acerca del proceso, que no está directamente relacionada al flujo.

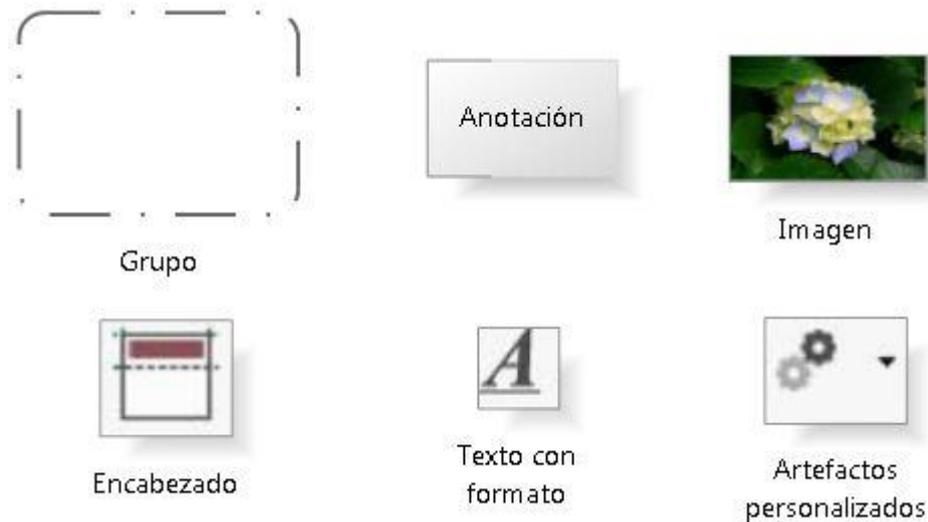


Figura 8. Tipos de Artefactos

- Swimlanes: existen tipos diferentes (Figura 9):
 - *Pool*: contenedor de procesos simples, contiene flujos de secuencia dentro de las actividades. Un proceso está completamente contenido dentro de un pool. Siempre existe como mínimo uno.
 - *Lane*: es una sub-partición dentro del proceso. Los lanes se utilizan para diferenciar roles internos, posiciones, departamentos etc.
 - *Fase*: es una sub-partición dentro del proceso. Puede indicar diferentes etapas durante el mismo.

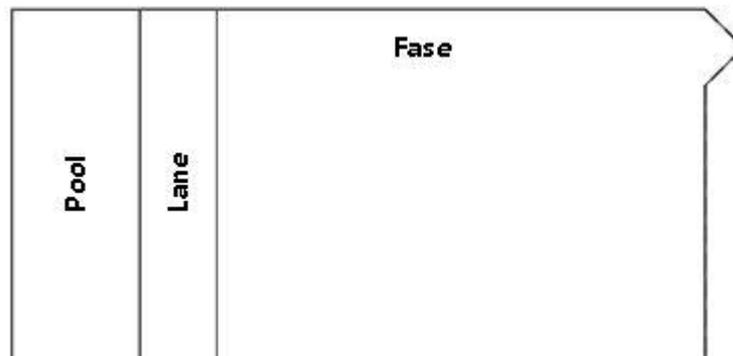


Figura 9. Tipos de Swimlanes

- Conectores: cuentan con los siguientes modelos (Figura 10)
 - *Flujo de secuencia*: es utilizado para mostrar el orden en el que las actividades se ejecutarán dentro del proceso.
 - *Asociación*: se utiliza para asociar información y artefactos con objetos de flujo. También se utiliza para mostrar las tareas que compensan una actividad.
 - *Flujo de mensaje*: se utiliza para mostrar el flujo de mensajes entre dos entidades que están preparadas para enviarlos y recibirlos.

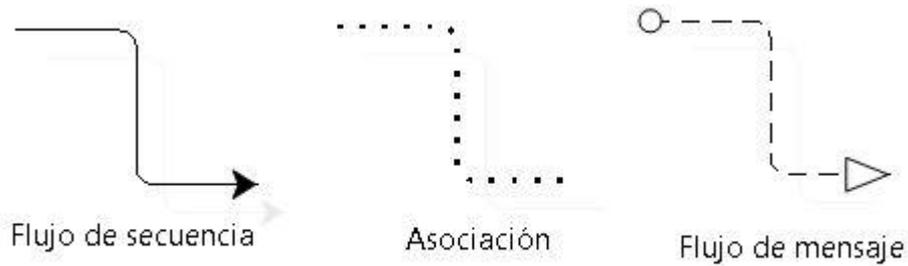


Figura 10. Tipos de Conectores

- Eventos: suceden durante el curso del proceso afectando al flujo y generando un resultado. Existen varios tipos de eventos:

Eventos de inicio: (Figura 11)

- *Evento de inicio simple:* indica dónde se inicia un proceso. No tiene algún comportamiento particular.
- *Evento de inicio de mensaje:* se utiliza cuando el inicio de un proceso se da al recibir un mensaje de un participante externo.
- *Evento de inicio de temporización:* se utiliza cuando el inicio de un proceso ocurre en una fecha o tiempo de ciclo específico.
- *Evento de inicio condicional:* este tipo de evento dispara el inicio de un proceso cuando una condición se cumple.
- *Evento de inicio de señal:* el inicio de un proceso se da por la llegada de una señal que ha sido emitida por otro proceso. Hay que tener en cuenta que la señal no es un mensaje.
- *Evento de inicio paralelo múltiple:* indica que se requieren múltiples disparadores para iniciar el proceso. Todos los disparadores deben ser lanzados para iniciarlo.
- *Evento de inicio múltiple:* significa que hay múltiples formas de iniciar el proceso. Solo se requiere una de ellas.



Figura 11. Tipos de Eventos de Inicio

Eventos intermedios: (Figura 12)

- *Evento intermedio simple:* indica que algo sucede en algún lugar entre el inicio y el final de un proceso. Esto afectará el flujo del proceso, pero no iniciará o finalizará el

mismo.

- *Evento de mensaje:* indica que un mensaje puede ser enviado o recibido. Si un proceso está esperando por un mensaje y éste es capturado, el proceso continuará su flujo. El evento que lanza un mensaje se identifica con una figura sombreada. El evento que capta un mensaje se identifica con una figura sin relleno.
- *Evento de temporización:* indica un retraso dentro del proceso. Puede ser utilizado dentro de un flujo secuencial para indicar un tiempo de espera entre actividades.
- *Evento escalable:* indica un escalamiento a través del proceso.
- *Evento de compensación:* permite el manejo de compensaciones. El uso de este tipo de evento dentro del flujo de proceso indica que una compensación es necesaria.
- *Evento condicional:* activa cuando una condición se cumple.
- *Evento de enlace:* se utiliza para conectar dos secciones del proceso. Pueden ser utilizados para crear ciclos o evitar líneas de secuencia de flujo largas.
- *Evento de señal:* se utilizan para enviar recibir señales dentro o a lo largo del proceso. El evento con lanza la señal se identifica con un triángulo sombreado mientras que el evento que la recibe se identifica con uno sin relleno.
- *Evento múltiple:* significa que hay múltiples disparadores asignados al evento.
- *Evento paralelo múltiple:* significa que hay múltiples disparadores asignados al evento y son necesarios todos los disparadores asignados para activar el evento.



Figura 12. Tipos de Eventos Intermedios

Eventos de finalización: (Figura 13)

- *Finalización simple:* indica que el flujo finaliza.
- *Finalización de mensaje:* indica que un mensaje se envía una vez finaliza el flujo.
- *Finalización escalable:* indica que es necesario realizar un escalamiento una vez finalizado el flujo.
- *Finalización de error:* indica que se debe generar un error. Todas las secuencias activas del proceso son finalizadas. El error será recibido por un evento intermedio de captura de error.
- *Finalización de cancelación:* se utiliza dentro de un subproceso de transacción e indica que éste debe ser cancelado.

- *Finalización de compensación:* habilita el manejo de compensaciones. Si una actividad se identifica y fue exitosamente completada, ésta será compensada.
- *Finalización de señal:* indica que una señal es enviada una vez finaliza el flujo.
- *Finalización múltiple:* significa que hay múltiples consecuencias de finalizar el flujo ocurriendo todas y cada una de ellas.
- *Finalización terminal:* finaliza el proceso y todas sus actividades de forma inmediata.



Figura 13. Tipos de Eventos de Finalización

Una vez descritos los objetos BPMN con los que se puede modelar en Bizagi, se va a describir cómo lleva a cabo Bizagi el proceso dinámico o simulación. La simulación es una herramienta para evaluar el desempeño de un modelo, con diferentes configuraciones y durante largos períodos de tiempo, para reducir las probabilidades de incumplir los requerimientos de negocio, eliminar cuellos de botella, evitar sub o sobre utilización de los recursos y optimizar el rendimiento del sistema. Requiere de un objetivo claro, con el fin de maximizar el valor obtenido por el esfuerzo.

La aleatoriedad es simulada con probabilidades para los flujos de secuencia y el enrutamiento de tokens. También mediante el uso de las distribuciones estadísticas para reflejar la variabilidad en los tiempos de proceso y en cada actividad. Para asegurar que los resultados sean válidos, la simulación se debe ejecutar durante el tiempo suficiente para asegurar que los resultados se han estabilizado. La longitud de ejecución requerida para proporcionar resultados válidos depende de la estructura del modelo de proceso, la cantidad de variabilidad y el objetivo, por lo que no es posible recomendar una longitud.

El escenario ideal al utilizar la simulación debe tener un modelo del proceso completo para que los resultados puedan ser fiables. Hay que seguir los cuatro niveles de simulación uno por uno ya que cada nivel incorpora información adicional, más compleja que la anterior, proporcionando así un análisis coherente de sus procesos. Los niveles no son restrictivos, es decir, se puede comenzar en cualquiera de ellos si se posee la información requerida [10].

La simulación de Bizagi consta de cuatro niveles [10]:

- **NIVEL 1 - Validación del proceso (Process Validation):** es la simulación básica para evaluar la estructura del diagrama de proceso. Es el primer nivel y el más básico. Posee los datos de los porcentajes estimados para los flujos de secuencia de compuertas para tener una base de enrutamiento, así como la información de la activación de instancias del proceso en el evento inicio. Cuenta a su vez con un contador de activación en el evento inicial. Los resultados obtenidos en este nivel son los caminos que se han activado durante la ejecución y si todas las instancias han acabado, además de la evaluación de cuantas instancias han pasado por

cada flujo actividad y evento final, es decir, instancias completas, creadas, que activan cada elemento e instancias finalizadas. (Figura 14)

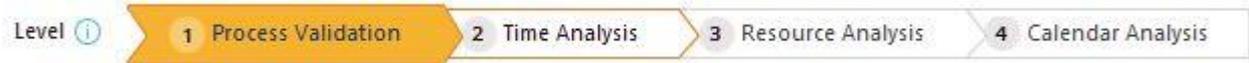


Figura 14. NIVEL 1 - Validación del proceso

- NIVEL 2 – Análisis del tiempo (Time Analysis): es el segundo nivel de simulación para medir el tiempo total de proceso. Este nivel se compone de los datos del nivel 1 – Validación del proceso, así como de los tiempos estimados de actividad y del intervalo de tiempo entre instancias. Con ellos, se darán como resultados, los rendimientos de tiempos para las instancias consolidando los tiempos mínimos, máximos y totales de procesamiento. Bizagi asume capacidad infinita de los recursos aún y proporciona información sobre el tiempo de ciclo teórico, ya que no contempla los tiempos de espera. (Figura 15)



Figura 15. NIVEL 2 - Análisis del tiempo

- NIVEL 3 – Análisis de recursos (Resource Analysis): predice cómo se ejecutará el proceso con diferentes niveles de recursos y, proporciona una estimación más fiable de cómo se comporta el proceso en la vida real. Posee los datos del Nivel 2 – Análisis del tiempo, así como la definición de los recursos (cuántos recursos hay y en qué actividades se usan). Se permite incluir lo que se denomina tiempos de espera, el recurso implicado estará ocupado en dicha actividad, lo que es conocido como tiempos de preparación/set up. La diferencia entre este nivel y el anterior es que los recursos implican restricciones para realizar las actividades. En este nivel se puede analizar las operaciones en términos de costes económicos. El propósito es identificar el impacto de las restricciones impuestas por los recursos en términos de tiempo de ciclo y costes. Los resultados constarán de los costes totales de los recursos y las actividades, de las demoras (no es el tiempo de espera de las actividades que se ha definido anteriormente) y, proporcionará el tiempo de ciclo real. Este nivel permite evaluar la sobre o infra utilización de los recursos. (Figura 16)

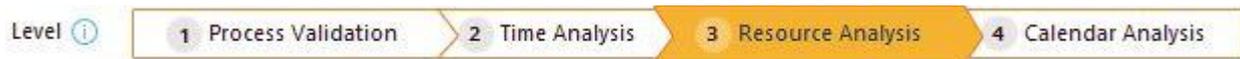


Figura 16. NIVEL 3 - Análisis de recursos

- NIVEL 4 – Análisis de calendarios (Calendar Analysis): en este último nivel se incluye la información del calendario de trabajo que refleja la dinámica del proceso sobre el tiempo, teniendo en cuenta los turnos, los días de programación o las semanas. Los datos que se recogen son los datos del Nivel 3 – Análisis de recursos y la definición de los calendarios de los recursos. Al final en los resultados de este nivel se obtiene la información más fiable sobre la infra o supra utilización de los recursos, los costes totales de los recursos y las actividades, las demoras y, de los tiempos de ciclo esperados. (Figura 17)

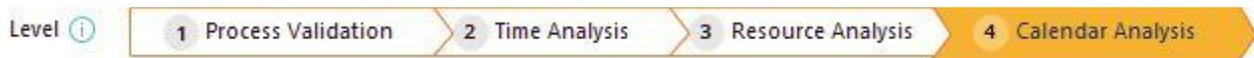


Figura 17. NIVEL 4 - Análisis de calendarios

3.4 BPM aplicado al sector de la automoción

Existen una serie de disciplinas relacionadas con BPM, que han sido implantadas e instauradas en Renault Sevilla. Estas son [3]:

- *TQM (Total Quality Management)*: se encarga de la mejora de los productos y servicios. En Renault se lleva a cabo a partir de unos paneles en los que se van actualizando mes a mes una serie de indicadores desde el departamento más genérico de la fábrica hasta el taller más específico.
- *Gestión de operaciones*: lleva a cabo la optimización en producción y fabricación.
- *Lean*: basado en la eliminación de desperdicios. En Renault se lleva a cabo a partir de la estandarización de todo en general, con la implantación de los controles visuales conocidos como “Poka-Yoke”; así como la limpieza, la comodidad en el trabajo, el cumplimiento de las 5S entre otras.
- *Six Sigma*: consiste en la minimización de los errores o defectos.

Algunos ejemplos de aplicación de BPM en el sector de la automoción lo encontramos en [11] y [12]. En ambas referencias se muestra como en Malasia muchas organizaciones han comenzado a adoptar programas BPM para mejorar su productividad y rendimiento. No obstante, la adopción de estos programas y la implementación de BPM con éxito no es una tarea sencilla. En [11] se aplicaron técnicas de simulación para evaluar la carga del coche en el carril de carros, los defectos en los sistemas de aire acondicionado, la mesa de ayuda de los procesos de respuesta, los problemas de garantía en los centros de llamadas salientes, y la garantía y los procesos de emisiones, entre otros. En [12] ofrecen un modelo que intenta conectar los controladores externos e internos de la implementación BPM.

4 ANÁLISIS DEL PROCESO “MECANIZADO DE LA CORONA DE LA CAJA TL4”. CASO PRÁCTICO

En este capítulo se describe el proceso de mecanizado de la corona de la caja TL4 (caja de seis velocidades). Esta línea es característica dentro de la fábrica debido a que es una de las líneas que cuenta con mayor tiempo de mecanizado. También se describe cómo se ha llevado a cabo la toma de datos así como la elaboración del modelo para la simulación. Además se detallará la simulación del mismo y el correspondiente análisis de los datos, con el que posteriormente se plantearán y resolverán las posibles mejoras.

Se decidió este proceso debido a que en la fábrica se estaba empezando a instaurar una mejora en el transporte que requería un estudio para conocer su verdadera rentabilidad. De ahí que el modelo TO BE (con ciertas mejoras) sea únicamente para mejorar el transporte, ya que disminuye los tiempos de paso de las piezas estudiadas.

El grueso de la información del presente trabajo se ha obtenido gracias a la ayuda recibida tanto por los expertos en la línea.

Se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de la documentación proporcionada por la empresa, a la cual se ha tenido acceso gracias a la realización de las prácticas extracurriculares, realizadas por la tutora del TFG, que propone la Universidad de Sevilla durante un periodo de seis meses, que se han llevado a cabo en la fábrica de cajas de cambio de Renault en Sevilla.

4.1 Metodología seguida

La metodología llevada a cabo en el caso práctico no es más que una descripción de los métodos que forman parte de BPM.

4.1.1 Información basada en la evidencia

En primer lugar, el jefe de taller de la nave B proporcionó una serie de datos e información preliminares para analizar. Esta información contenía todos los datos de las máquinas implicadas en la línea, así como los tiempos de paso y los tiempos de espera que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el estudio del caso práctico. Seguidamente, se estuvo observando durante varios días la planta para aclarar la relación entre los datos que se habían proporcionado y lo que visualmente se llegaba a percibir. También, se han recogido una serie de datos automáticamente a partir de una base de datos en la que los trabajadores de la fábrica volcaban la información de forma diaria como son los datos del transporte tanto desde la nave B como desde la nave de tratamientos térmicos (TTH), en los que se incluían e indicaban los datos correspondientes a la hora de llegada a la línea de duro después de haber sido tratadas las piezas en TTH.

4.1.2 Información obtenida mediante entrevista

Toda la información ha sido contrastada y dialogada a través de entrevistas con el personal de la línea desde el jefe de taller hasta el operario más reciente. Se ha tratado de una estrategia Backward-Forward ya que se ha empezado sabiendo cuál es el problema y se ha ido analizando lo que ya se está haciendo para poder encontrar los posibles fallos de forma más rápida y eficiente.

Este proceso de información obtenida a través de las entrevistas con expertos es lo que se ha

denominado en este TFG un proceso de extracción de datos y modelado del proceso “Mecanizado de corona de la caja TL4”. La descripción del proceso se muestra en la Figura 18. Se han ido realizando distintas versiones que se iban verificando a través de las entrevistas tanto con los expertos de la fábrica, para que no se cometieran fallos en el proceso de mecanizado; como con el tutor del TFG, que se muestra en el modelo de la Figura 18 con el rol “Experto en BPM”. Para ver que el modelo estaba correctamente realizado y que los datos eran coherentes de acuerdo al estudio previamente realizado.

Toda esta información no sólo se ha obtenido de las actividades cotidianas, sino también de situaciones en las que hay dificultad en la fábrica, que se dan menos frecuentemente pero no por ello dejan de ser relevantes a la hora de realizar un estudio meticuloso del proceso.

La Figura 18 muestra el proceso de cómo se ha realizado la toma de datos y las verificaciones de los distintos modelos que se iban planteando. Han formado parte de esta toma de datos, tanto los tres jefes de unidad de los turnos de mañana, tarde y noche de la línea de coronas así como el jefe del taller. También se ha contado con la ayuda de algunos operarios más expertos en la línea, además de contar con la ayuda de carretilleros y personal encargado del transporte entre las distintas naves de la fábrica.

Los expertos de las líneas de mecanizado, desde los operarios hasta el jefe del taller, comprendidas entre Marzo del 2016 hasta Septiembre del 2016.

4.2 Descripción del proceso

El proceso en el que se ha basado nuestro estudio es en el mecanizado de una de las piezas que compone la caja de cambio de seis velocidades, la caja TL4. Dicha pieza es la corona.

Partiendo del proceso de mecanizado de las coronas, se va a realizar una implementación en BPM para buscar posibles errores que hacen que este mecanizado sea más lento.

Este proceso es el elegido ya que cuenta con mayor tiempo de paso debido a la existencia de un cambio de ráfaga demasiado largo y costoso, por lo que se realiza como mínimo una vez por turno (cada 8h.) dependiendo siempre de la máquina y la operación de la que se trate. Y, además, el tiempo de transporte entre las distintas naves que tienen que pasar las piezas es uno de los más elevados de la fábrica.

El mecanizado de las coronas, al igual que el resto de la fabricación, se realiza en tres turnos de ocho horas: mañana, tarde y noche. Dicho mecanizado está compuesto por tres subprocesos: la pieza en blando, el tratamiento de la pieza en tratamientos térmicos y la pieza en duro. Todos ellos, se detallan a continuación:

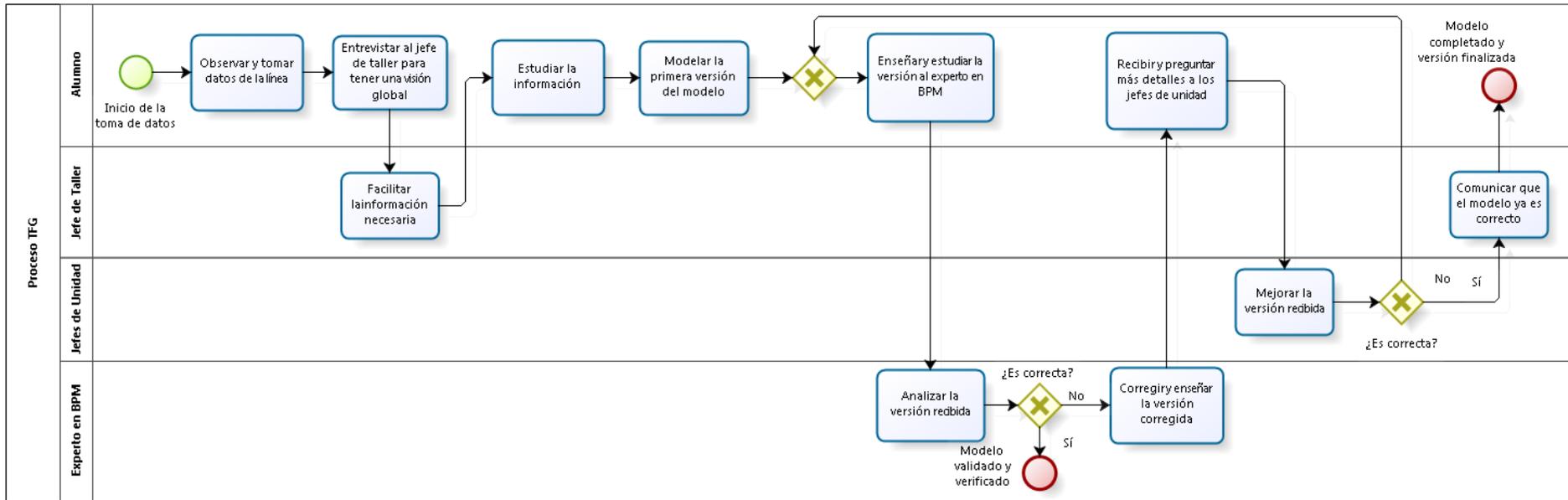


Figura 18. Extracción de datos y modelado del proceso “Mecanizado de corona de la caja TL4”

1. **“Procesar pieza en blando”**. A este subproceso se le denomina proceso en blando debido a que son operaciones anteriores al traslado y desplazamiento de las piezas a la nave de tratamientos térmicos, donde se introducirán en los hornos que enriquecerán a la pieza con carbono y se le someterá a altos niveles de temperatura para conseguir una mayor dureza. Este proceso se inicia con el transporte de las piezas a la cinta transportadora para entrar de este modo, en la línea a través de un robot. Dichas piezas reciben el nombre de bruto dentro de un proceso de fabricación como este. Éstas se recogen en contenedores (Figura 19). El siguiente paso que realizan las piezas es entrar en el subproceso “Premecanizar”:

- Comienza con la primera fase del torneado realizada por una máquina específica que recibe el nombre de tornadora. Seguidamente se lleva a cabo la verificación de las piezas después del torneado por parte del operario. Éste la va realizando cada cierto número de piezas pero hay que realizar la verificación de todas y cada una de las piezas para comprobar que no hay ningún error en las mismas. Si comprueba que hay algún tipo de fallo o error, pasarán a pertenecer las piezas analizadas al grupo de piezas rechazadas sobre las que posteriormente se analizarán y se les buscará alguna solución; tanto si se pueden corregir y volver a introducir en la línea, como si no es así y pasan a formar parte de la chatarra.

Después se realiza la segunda fase del torneado por parte de otra tornadora. Al igual que en la primera fase, sólo cada cierto número de piezas, el operario pasa un control de verificación para comprobar si las piezas están en correcto estado. Posteriormente, las piezas son marcadas por la marcadora, quedando así listas para el siguiente paso a realizar.



Figura 19. Contenedor de piezas en bruto

Una vez terminado el subproceso de “Premecanizar” se sigue con “Procesar pieza en blando”. Las piezas son sometidas al taladrado de los agujeros necesarios en la corona, una vez que ya ha sido marcada la pieza anteriormente (Figura 20). Acto seguido se procede a la verificación de las piezas cada cierto tiempo tal y como indica la información de la taladradora, por parte del operario con el mismo procedimiento seguido anteriormente, mediante el control exhaustivo y correspondiente a cada fase. En el siguiente proceso se realizan los dientes por parte de la talladora. Posteriormente se vuelven a verificar sólo cada cierto número de piezas, por parte del operario. Tras esto, se le hace un chaflán a los dientes para facilitar el engranaje. Paso seguido se realiza la correspondiente verificación por parte

del operario conocida, sólo cada cierto número de piezas.



Figura 20. Transporte de piezas en la cinta

Por último y antes de proceder a la última fase de dicho subproceso, se lleva a cabo un primer lavado antes de llevar las piezas a tratamientos térmicos para ser tratadas. El último proceso es el encargado de cargar los platos para TTH a partir de un robot especializado en ello. En este último proceso se lleva a cabo el registro de los carros acabados en la línea de blando.

2. **“Tratar pieza en Tratamientos Térmicos (TTH)”**. Este proceso se inicia con el proceso del transporte por parte del operario encargado de la carretilla de la fábrica. Éste se encarga de transportar las piezas desde la nave B hasta la nave de tratamientos térmicos. Una vez que llega a TTH, se lleva a cabo la descarga de los platos en el horno realizada por el operario de la línea de TTH. Seguidamente, introducidas las piezas en el horno, éste procede a carbonizarlas dándose seguidamente la verificación propia de todo proceso para comprobar que no existe ningún fallo y si hay alguno detectarlo a tiempo, por parte una vez más del operario encargado de la línea, sólo se realiza dicha verificación cada cierto número de piezas. Por último, una vez finalizada la carbonización, se lleva a cabo el lavado de las piezas después de haber sido tratadas en tratamientos térmicos.
3. **“Procesar pieza en duro”**. Una vez que sale el producto de tratamientos térmicos, vuelve a la nave B para comenzar el proceso en duro mediante el transporte de las piezas en carretilla. Una vez llegadas las piezas a la nave B, se procede a descargar los platos de TTH por parte de un robot que se encarga de introducir las piezas en la línea de duro. La primera operación de este subproceso es lavar las piezas en la lavadora para terminar de limpiar la pieza en caso de que no haya salido completamente limpia del proceso de endurecimiento en la nave de tratamientos térmicos.

Sigue la cadena de procesos con la rectificadora de diámetro interno y de la cara de la corona ya que, tras el proceso de endurecimiento en los hornos, las medidas iniciales se ven afectadas y hay que corregirlas. Seguidamente se procede a la verificación de la cara y del interior de las piezas por parte del operario de la línea de duro, esta verificación se realiza como las anteriores, cada cierto número de piezas. Acto seguido se procede al rectificado del dentado de las piezas que se lleva a cabo mediante la rectificadora y se encarga de la corrección del dentado de la pieza, al igual que hicimos anteriormente con el diámetro interno y con la cara de la corona, en el que se incluye un desbaste y un alisado. Posteriormente se procede de nuevo a la verificación del dentado de las piezas por parte del operario. Dicha verificación sólo se realiza cada cierto número de piezas.

Nuevamente las piezas pasan por una lavadora. Una vez lavadas las piezas, se procede al granallado de las mismas por parte de la granalladora. Acto seguido se lleva a cabo la verificación de las piezas al igual que en los procesos anteriores.

Para terminar, se lavan las piezas por última vez en la lavadora, siendo el siguiente paso el control de golpes mediante la controladora de golpes, y la verificación por parte del operario de la pieza por última vez cada cierto número de piezas.

Antes de proceder a la descarga y el almacenamiento del producto final, se lleva a cabo el registro de las piezas acabadas y con ello se pone fin al mecanizado de la corona de la caja de seis velocidades.

4.3 Modelo del proceso

4.3.1 Modelo AS-IS. Modelo estático

El modelo estático “AS-IS” engloba el proceso descrito anteriormente del mecanizado de la corona a través de la metodología BPMN usada por Bizagi. El transporte se realiza mediante carretillas y tractores para desplazar las piezas desde la nave donde se fabrican hasta dónde son tratadas en los hornos en mitad del proceso como se muestra a continuación en el proceso. Esto hace que el tiempo de paso de la pieza sea muy elevado debido a que la estimación media de estancia y transporte en la nave de tratamientos térmicos es entre seis y ocho horas. Es por ello, que se ha decidido coger este proceso para nuestro estudio basado en BPM.

En la Tabla 1 se puede ver que el modelo consta de tres niveles. El nivel 1 (N1) es el nivel principal, el nivel 2 (N2) es un desglose de cada una de las actividades del nivel 1, y, el nivel 3 (N3) lo constituye una única actividad del nivel 2. Tal y como se indica en esta tabla, se pueden apreciar los tiempos medios (TM) expresados en minutos de cada actividad, y, además, el tiempo total (TT) de los tres procesos principales, sin incluir los tiempos de espera. También como se puede observar, tanto en el tiempo de transporte de las piezas de la nave B a la nave de TTH y viceversa, siguen una distribución *log normal* debido a que la frecuencia con la que pasan los carretilleros no está sincronizada y no es siempre la misma, por tanto, se ha realizado un estudio con la toma de una serie de tiempos y se ha calculado mediante dicha distribución para que se pueda ver como realmente funciona el transporte en esta línea de mecanizado.

Nivel 1 (N1)	TT	Nivel 2 (N2)	TM	Nivel 3 (N3)	TM	
Procesar pieza en blando en nave B	4.25	Transportar pieza a cinta	0.2			
		Premecanizar	1.57	Tornear pieza FASE 1	0.46	
				Verificar pieza después de FASE 1	0.1	
				Tornear pieza FASE 2	0.53	
				Verificar pieza después de FASE 2	0.1	
				Marcar pieza	0.38	
		Taladrar pieza	0.48			
		Verificar pieza después de taladrar	0.1			
		Tallar los dientes de la pieza	0.53			
		Verificar pieza después de tallar	0.1			
		Achaflanar los dientes de la pieza	0.45			
		Verificar pieza después de achaflanar	0.1			
		Lavar antes de TTH	0.42			
Cargar plato TTH robotizado	0.3					
Tratar pieza en Tratamientos Térmicos	60.82 (sin contar con el transporte)	Transportar a TTH	LN (262.1,50.8)			
		Descargar plato en el horno	0.3			
		Carbonizar pieza en horno	60			
		Verificar pieza después de ser carbonizada	0.1			
		Lavar pieza en TTH	0.42			
Procesar pieza en duro en nave B	4.95 (sin contar con el transporte)	Transportar pieza nave B	LN (963.2,416.6)			
		Descargar plato TTH robotizado	0.3			
		Lavar pieza en nave B	0.42			
		Rectificar la cara y el interior de la pieza	0.54			
		Verificar el rectificado de la cara y del interior de la pieza	0.1			
		Rectificar el dentado de la pieza	0.53			
		Verificar el rectificado del dentado de la pieza	0.1			
		Lavar la pieza antes de granallarla	0.4			
		Granallar la pieza	0.48			
		Verificar la pieza granallada	0.1			
		Lavar la pieza por última vez	0.48			
		Controlar golpes	0.6			
		Verificar la pieza por última vez	0.1			
		Descargar plato	0.3			
Registrar piezas	0.5					

Tabla 1. Datos del modelo: Tiempos medios

A continuación, se muestra en la Tabla 2 los porcentajes que se han tomado de los operadores lógico BPMN que dividen el flujo de cada uno de los procesos para el estudio; tanto los porcentajes de las piezas que se verifican en cada máquina, como los porcentajes necesarios para conocer cuántas piezas son rechazadas por dicha verificación. Dicha tabla se encuentra compuesta por tres columnas para cada una de las partes del proceso: proceso duro, tratamientos térmicos y proceso en blando. Seguidamente, éstas columnas se subdividen en otras dos, encontrándose en la columna de la izquierda los nombres de las distintas operaciones que se llevan a cabo en el proceso y en la de la derecha, se encuentran tanto la distribución que siguen las piezas al entrar en el proceso (*poisson*) como la referida a su transporte (*log normal*), así como el porcentaje seguido por las piezas para ser verificadas y el porcentaje de rechazo de cada fase de verificación.

En la Figura 21 se puede apreciar el proceso en el nivel de detalle denominado en la Tabla 1 como Nivel 1. Se muestran los tres procesos principales, que a su vez están divididos en subprocesos.

En las Figuras 22, 23, 24, 25 se encuentran los diferentes subprocesos estáticos en los que queda dividido el proceso principal, es decir, todos los subprocesos del modelo principal, tanto del proceso en blando (incluyendo el subproceso de premeccanizar) como los subprocesos del proceso en duro y en TTH.

Procesar pieza en blando		Tratar pieza en tratamientos térmicos		Procesar pieza en duro	
Entrada de piezas	Poisson (1, 8) Entran 108 piezas	Carbonizar pieza en horno	Se verifica el 1% de las piezas	Rectificar la cara y el interior de la pieza	Se verifica el 1% de las piezas
Tornear pieza FASE 1	Se verifican el 4% de las piezas	Verificar piezas después de carbonizar	El 95% de las piezas son conformes	Verificar pieza después de rectificar la cara y dientes	El 96% de las piezas son conformes
Verificar pieza después de FASE 1	El 93% de las piezas son conformes			Rectificar el dentado de la pieza	Se verifica el 1% de las piezas
Tornear pieza FASE 2	Se verifica el 1% de las piezas			Verificar pieza después de rectificar el dentado	El 68% de las piezas son conformes
Verificar pieza después de FASE 2	El 98% de las piezas son conformes			Granallar la pieza	Se verifica el 1% de las piezas
Taladrar pieza	Se verifica el 1% de las piezas			Verificar la pieza después de granallarla	El 97% de las piezas son conformes
Verificar pieza después de taladrar	El 95% de las piezas son conformes			Controlar golpes	Se verifica el 1% de las piezas
Tallar los dientes de la pieza	Se verifica el 1% de las piezas			Verificar la pieza por última vez	El 95% de las piezas son conformes
Verificar pieza después de tallar	El 94% de las piezas son conformes				
Achaflanar los dientes de la pieza	Se verifica el 1% de las piezas				
Verificar pieza después de achaflanar	El 99% de las piezas son conformes				

Tabla 2. Datos del modelo: Probabilidades de operadores lógicos y distribución evento inicial

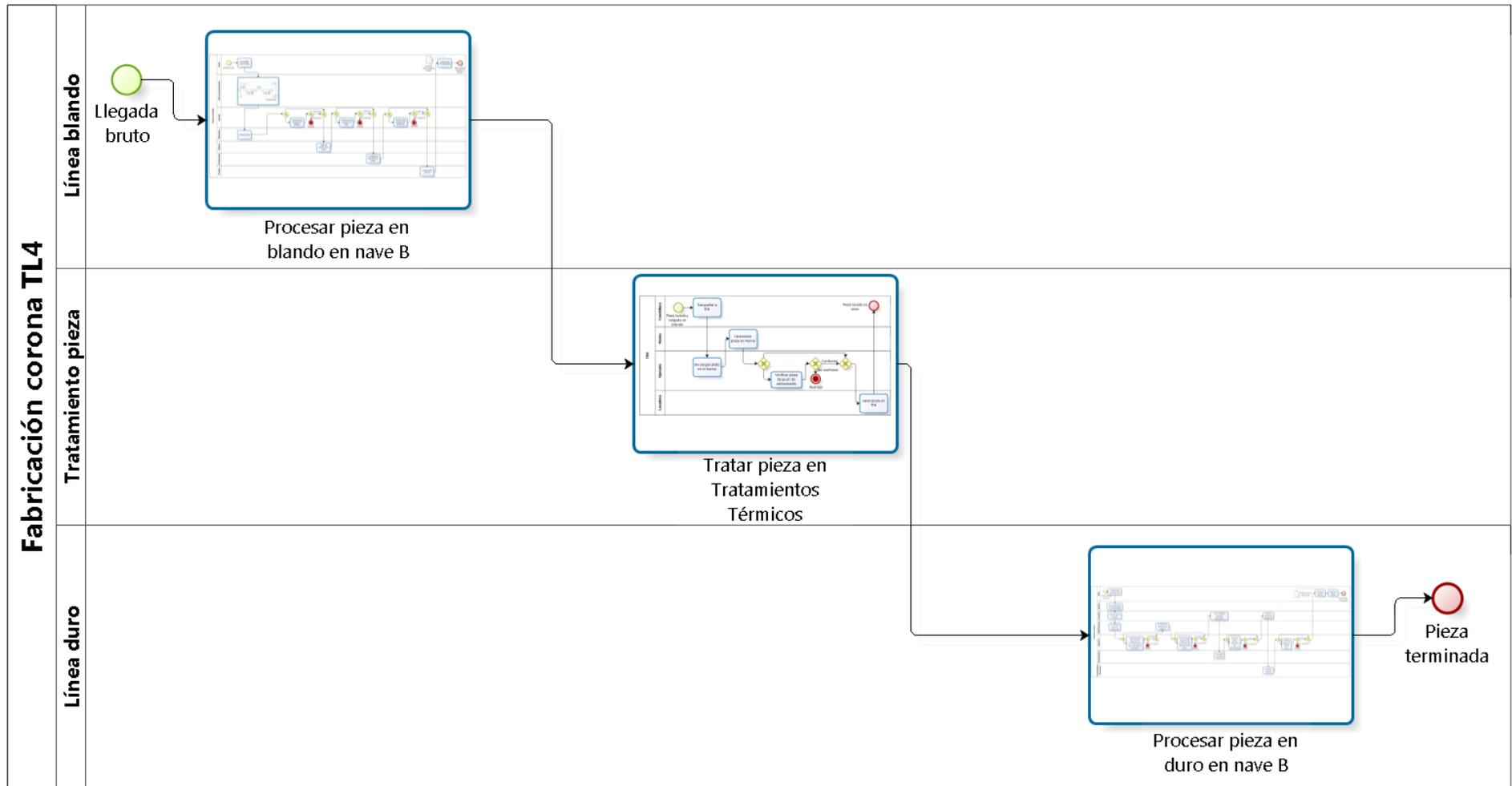


Figura 21. Primer nivel del modelo estático AS-IS

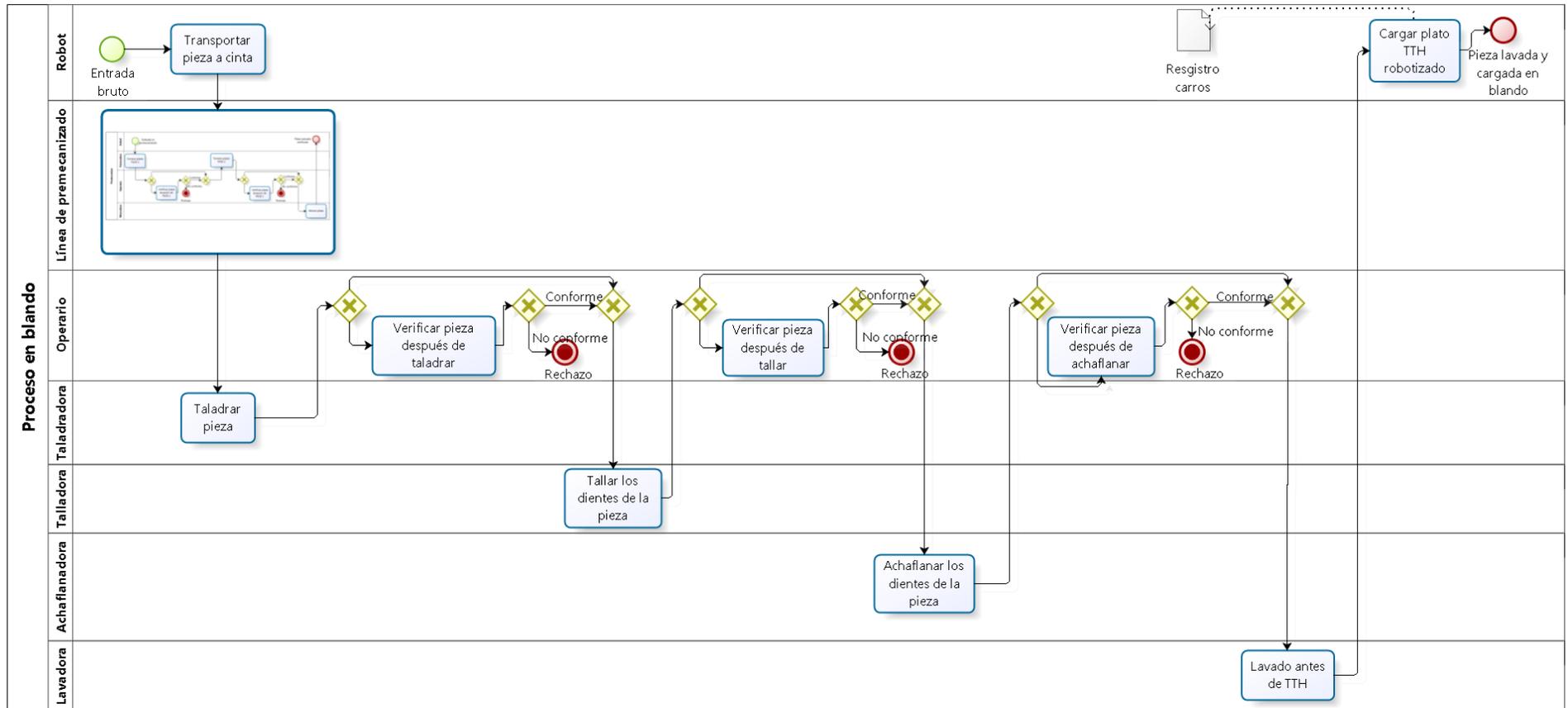


Figura 22. Proceso blando estático

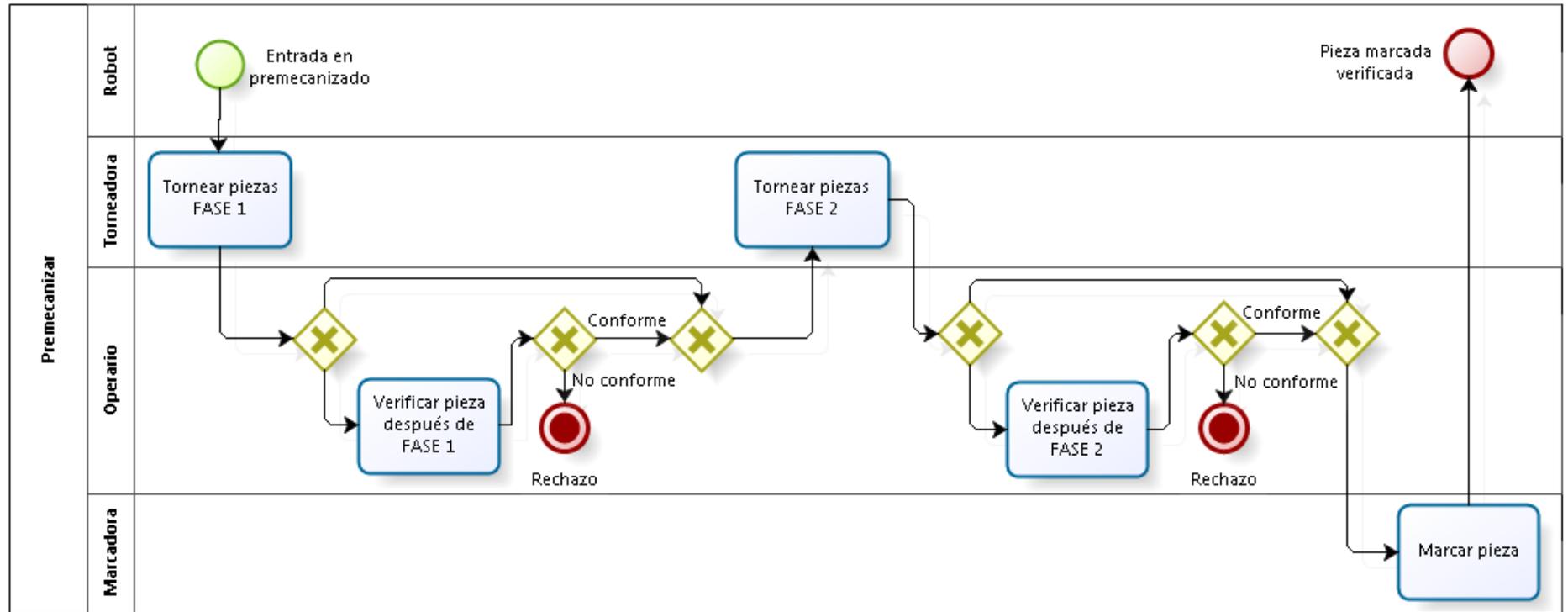


Figura 23. Subproceso Premecanizar estático

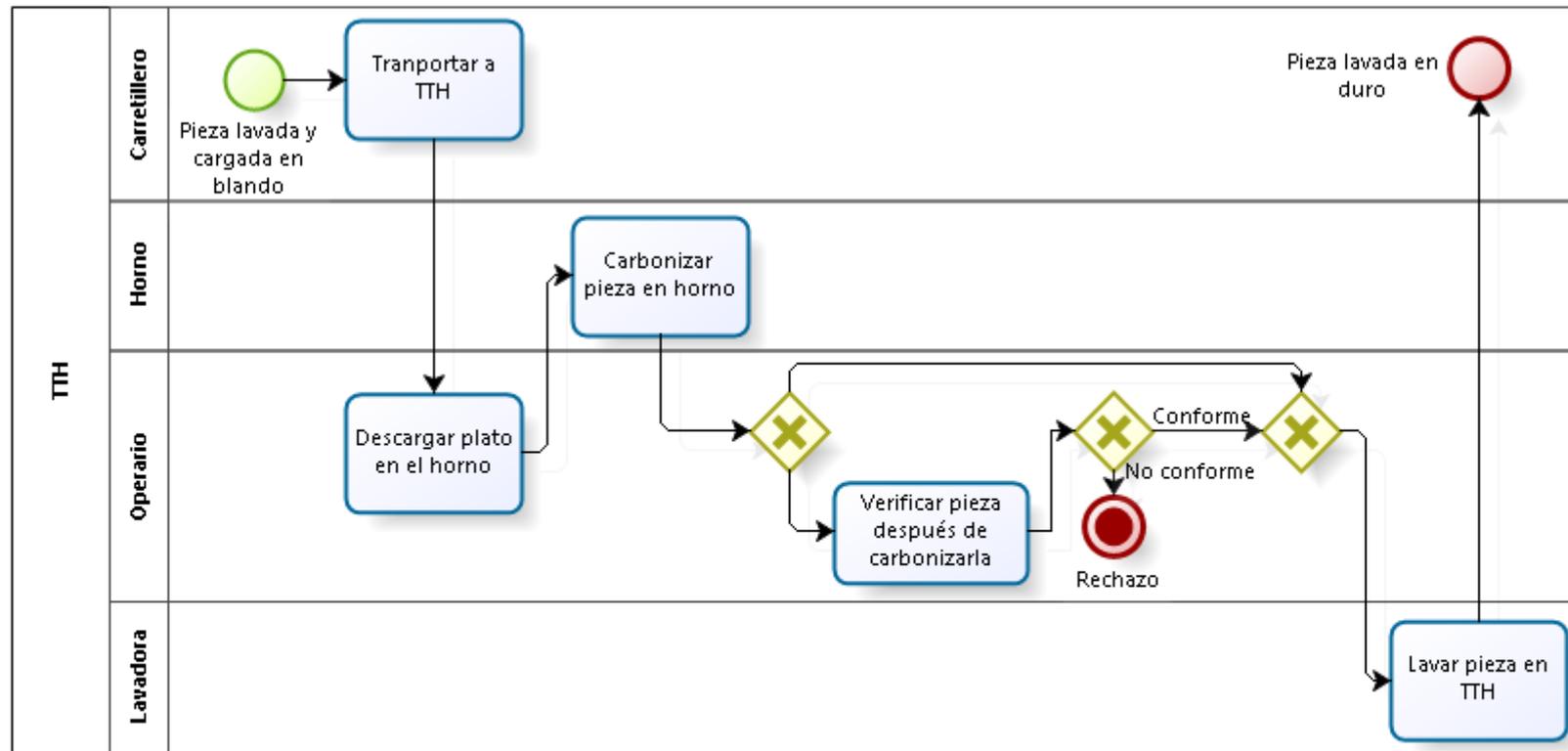


Figura 24. Proceso TTH estático

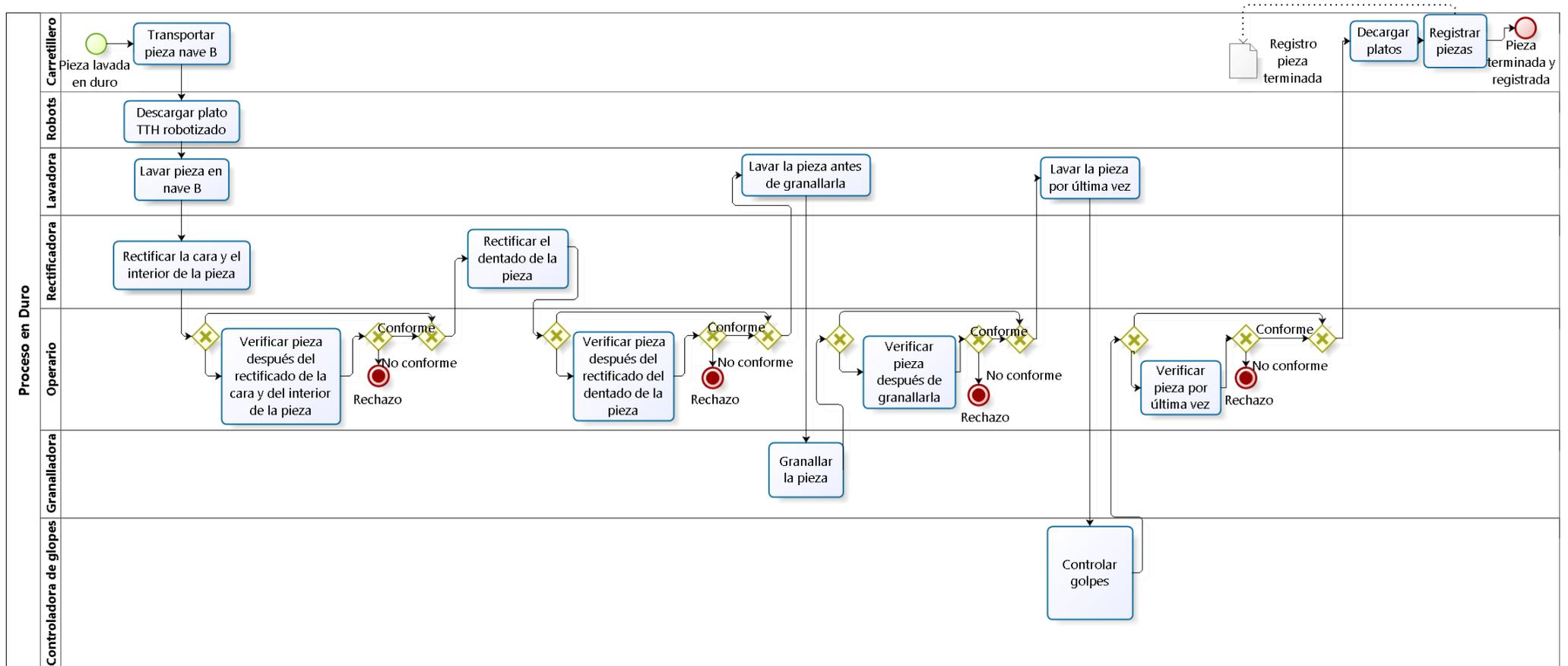


Figura 25. Proceso duro estático

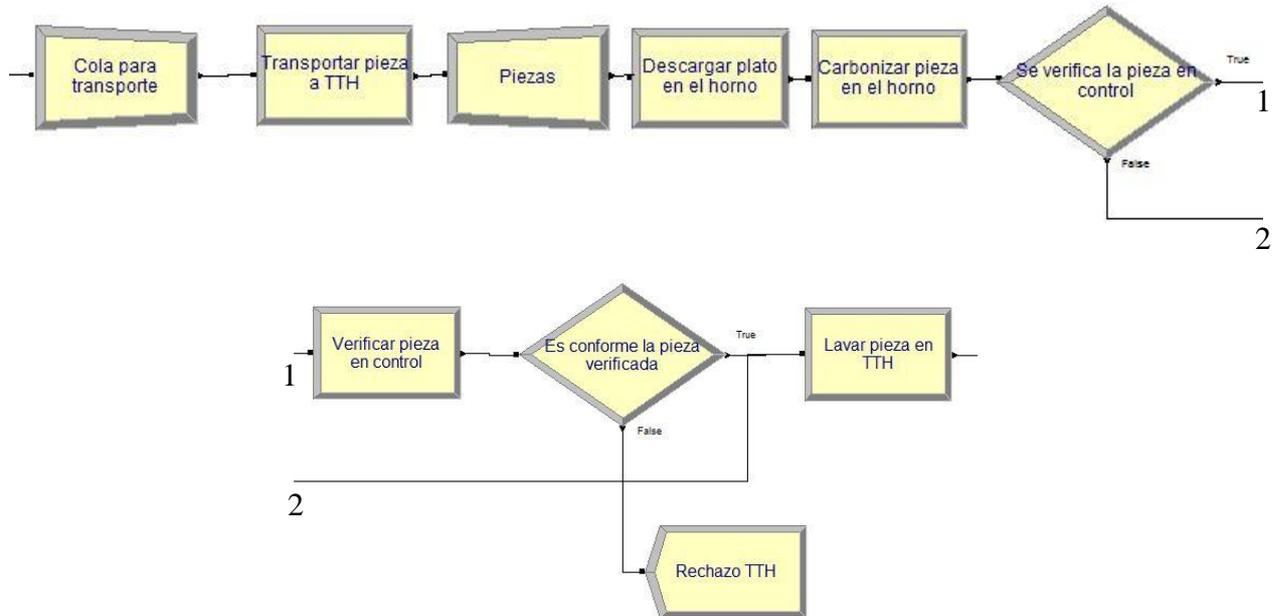


Figura 28. Subproceso Tratamientos Térmicos del modelo dinámico AS-IS

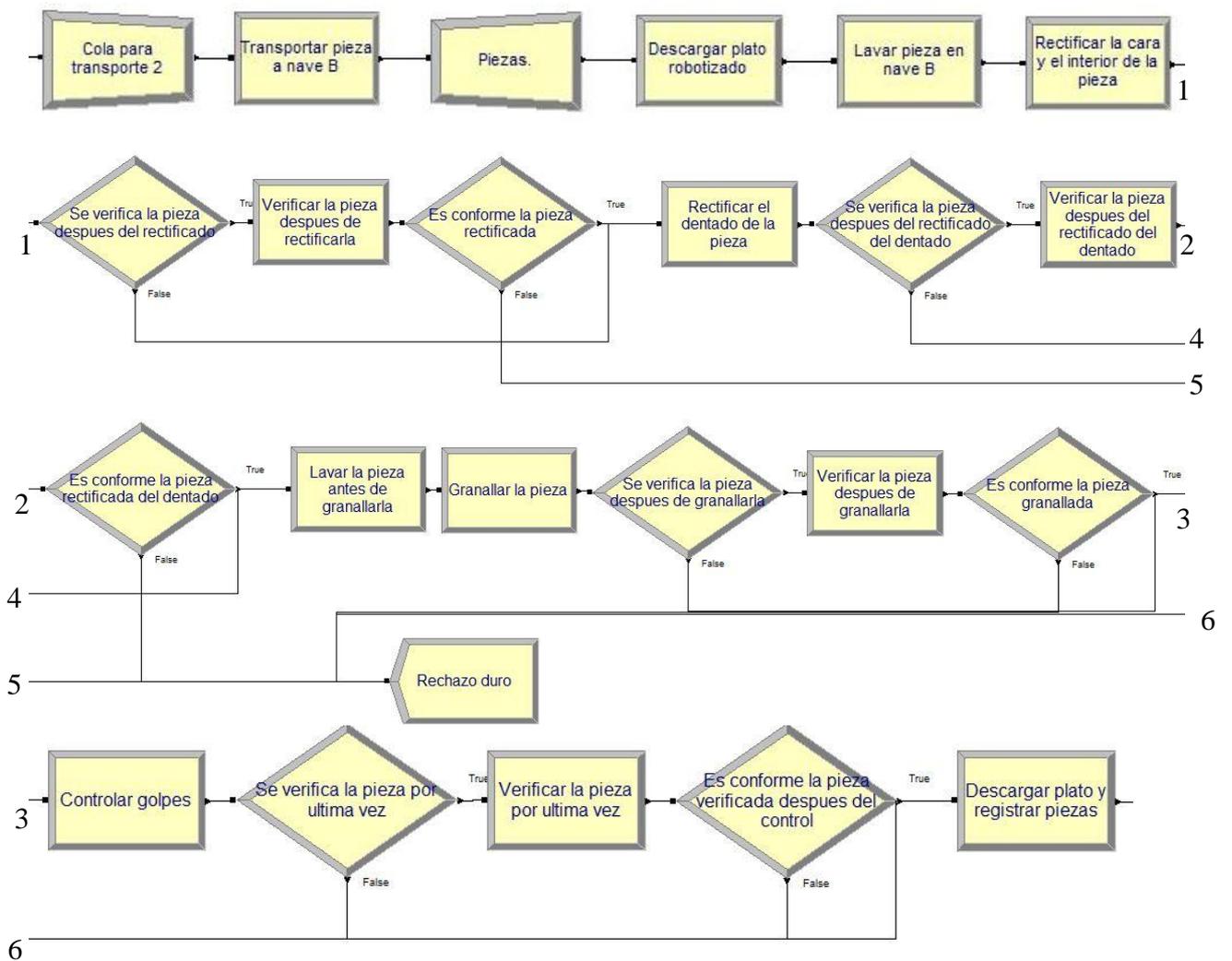


Figura 29. Subproceso Proceso en duro del modelo dinámico AS-IS

Se ha tenido que hacer un recorte por partes del programa Arena para poder visualizar los procesos completos con claridad debido que, dicho programa, no permite una exportación del modelo para que sea clara su representación. Los números que aparecen al lado de las fotos señalizan el flujo que sigue el proceso para no perder el hilo de una imagen a la siguiente.

Se han ido reintroduciendo las distintas fases de los subprocesos y los distintos valores temporales y porcentajes para poder llevar a cabo la simulación. Los resultados de la simulación se van a mostrar en el apartado 5.3, ya que se van a comparar los resultados de ambas simulaciones, tanto la de AS-IS como la de TO-BE.

5 PROPUESTAS DE MEJORA

La principal propuesta de mejora que se va a llevar a cabo se centra en el transporte de las piezas desde la Nave B a la nave de tratamientos térmicos (TTH). Hoy en día, ese transporte se hace a través de un carretillero que monta las piezas en un tractor y posteriormente otro operario se las lleva a tratamientos térmicos. Como puede observarse es un proceso muy anticuado y rudimentario. Por lo tanto, se ha renovado la forma de transportar las piezas, la cual no necesita de dos o más personas implicadas en el proceso. Se ha llevado a cabo la instauración de los AGV's en la fábrica (Automatic Guided Vehicle), que son vehículos de guiado automático que permiten transportar las piezas sin la manipulación de ninguna persona, únicamente es necesario cargar el carro de las piezas y posteriormente descargarlo, lo cual se lleva a cabo por el operario propio de la línea, por lo que no hace falta ninguna persona más adicional. En la Figura 30 se muestra el recorrido de los AGV's de la línea de coronas de la Factoría de Sevilla a través de toda la fábrica. Este estudio está empezando a ser instaurado en la fábrica, por lo que se ha visto que era una buena opción para analizar los beneficios a fondo.

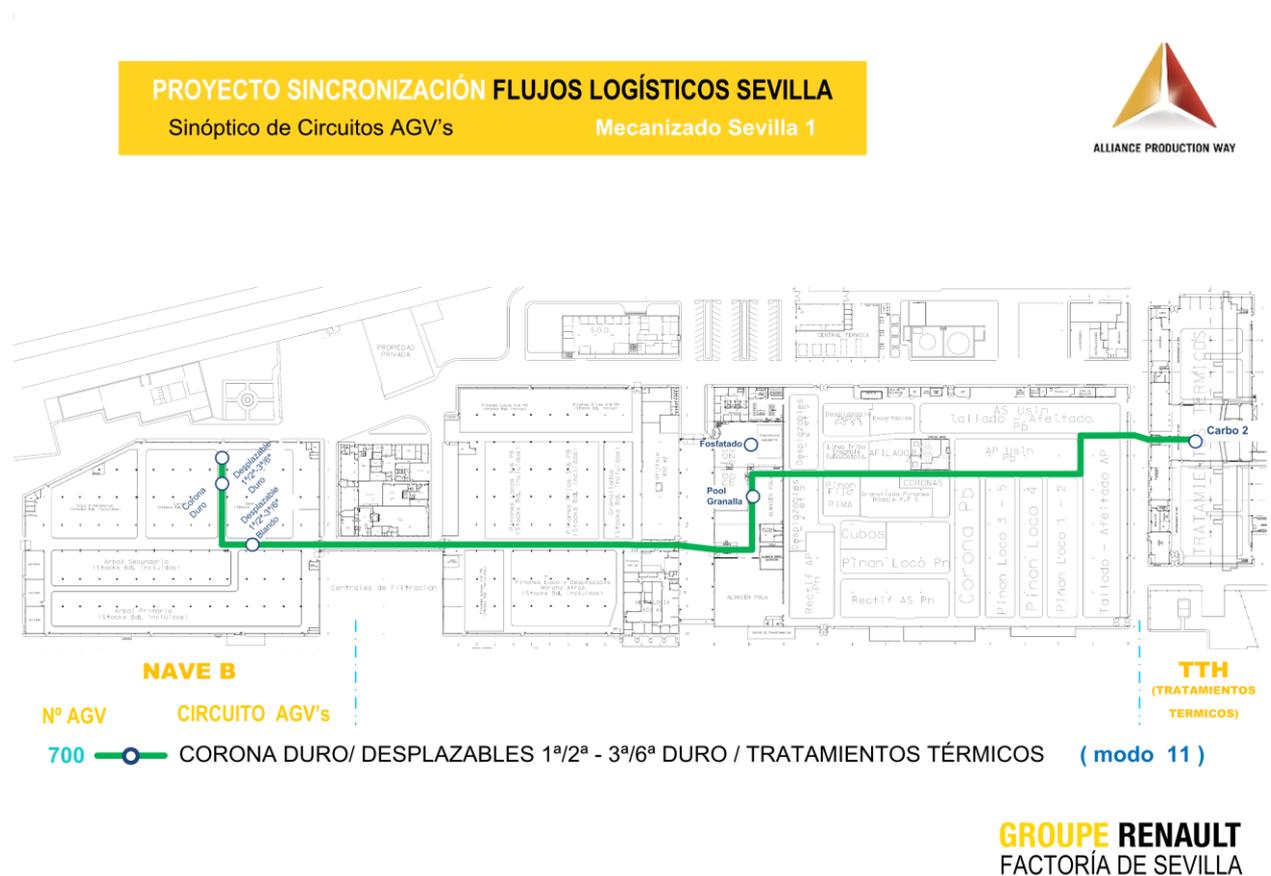


Figura 30. Mapa AGV corona TL4

Además, el estudio de la frecuencia y el circuito se explican de forma explícita junto a las tres zonas en las cuáles paran las piezas para ser tratadas, en cada zona, de una forma determinada. Dichas zonas son: el proceso en blando, la granalladora y la nave TTH (Figura 318).

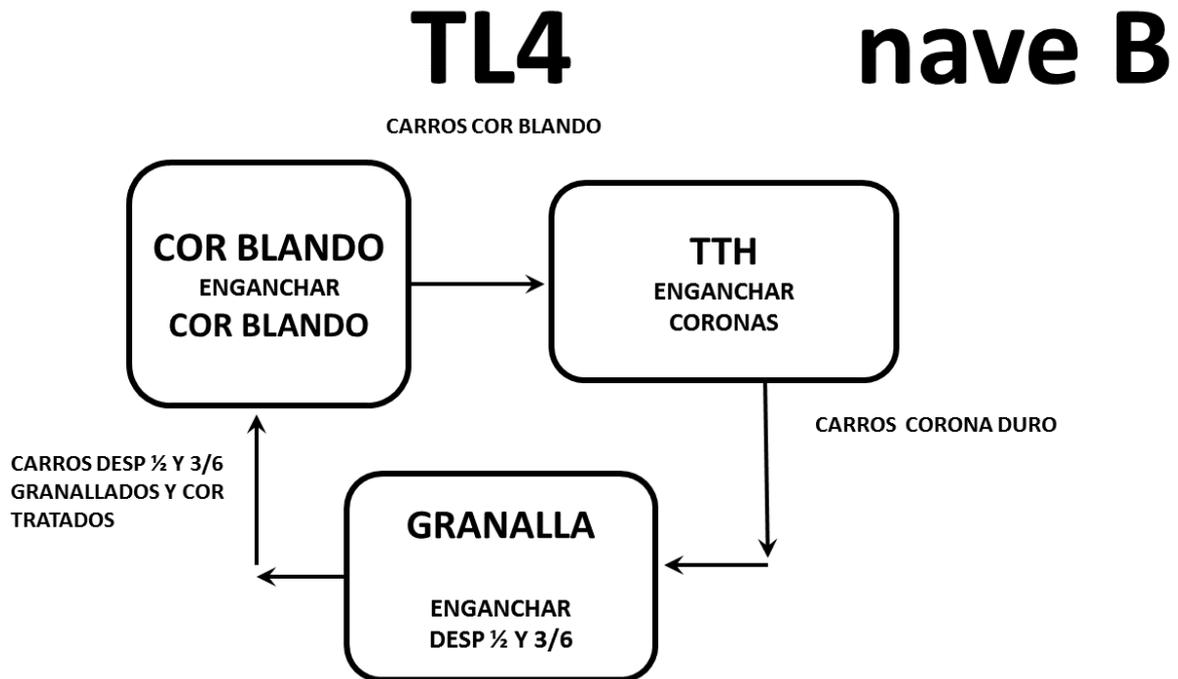


Figura 31. Recorrido AGV coronas

5.1 Modelo TO BE: Modelo estático

En el modelo estático del modelo TO BE únicamente se ha centrado la atención en el transporte ya que fue el principal problema detectado. Por tanto, sólo se nota la modificación en los subprocesos que llevan a cabo el transporte como son el proceso de TTH y el proceso de duro. El cambio es visualizado a la hora que se sustituye al carretillero por una máquina, como ha sido explicado anteriormente, es decir, el cambio es sólo apreciable en este modelo estático en el recurso AGV que ha sustituido al recurso carretillero. Esto ha hecho que se suprima el trabajo del carretillero y que se agilice el proceso porque el transporte es continuo y está trabajando durante todo el tiempo. Se puede ver la sustitución del carretillero por el recurso del AGV en los dos niveles en los que se lleva a cabo el transporte en el proceso (Figura 32 y Figura 33).

5.2 Modelo TO BE: Modelo dinámico

Una vez realizado el modelo estático se va a llevar a cabo la simulación del proceso para visualizar las mejoras obtenidas a partir de nuestro modelo TO BE. Al igual que en el modelo dinámico AS-IS se ha llevado a cabo la simulación mediante el software Arena. Se pueden ver todos los pasos llevados a cabo en la simulación de Bizagi en las figuras 22, 23, 24, 25. Fue, finalmente, al acabar todo el proceso de simulación en Bizagi cuando se llegó a la conclusión de que Bizagi no permitía la simulación de lotes.

El recurso AGV tarda únicamente 15 minutos en recorrer el proceso tanto de Tratamientos Térmicos a la Nave B como de la Nave B a tratamientos térmicos, una vez que haya sido llenado el carro con las piezas correspondientes.

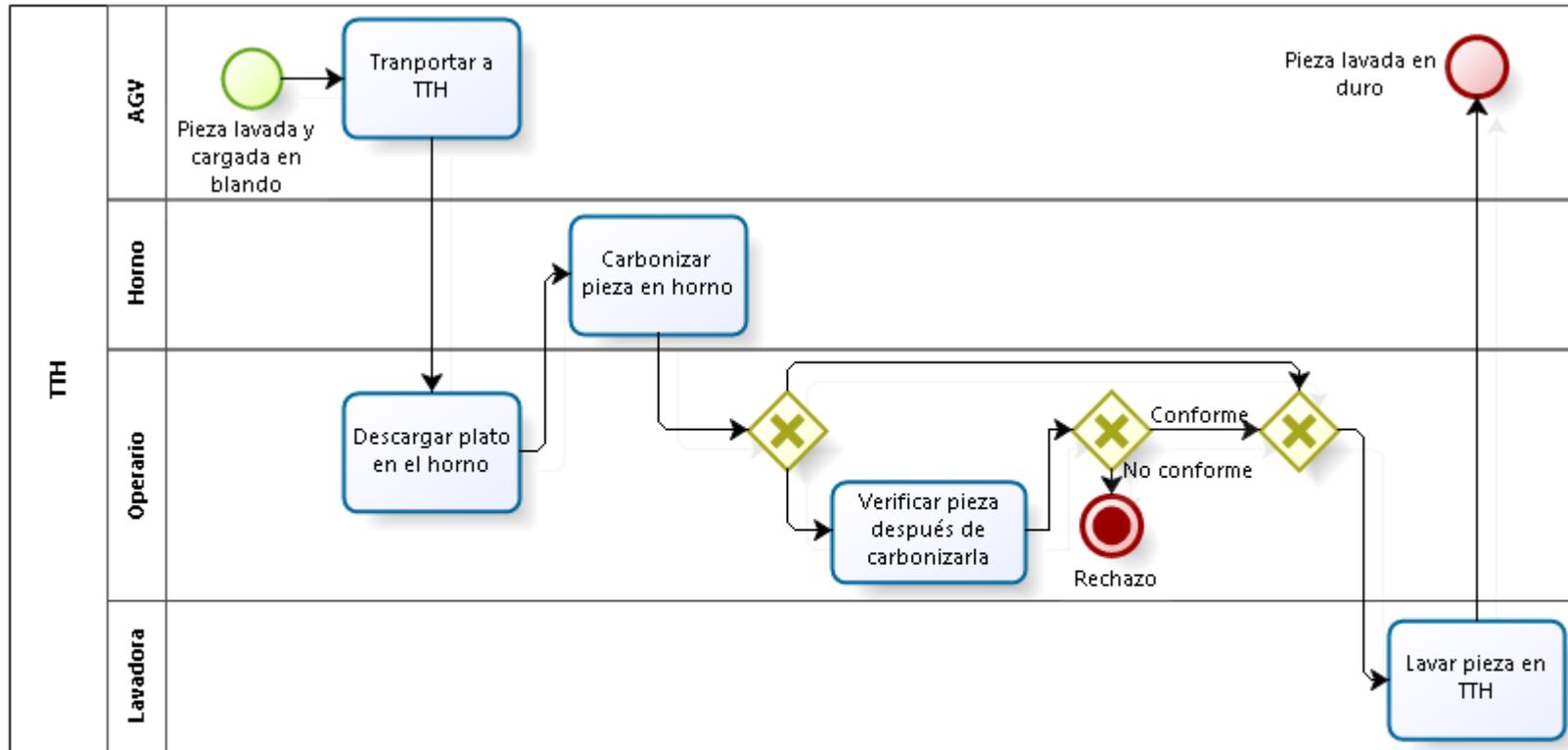


Figura 32. Subproceso Tratamientos Térmicos en modelo estático TO-BE

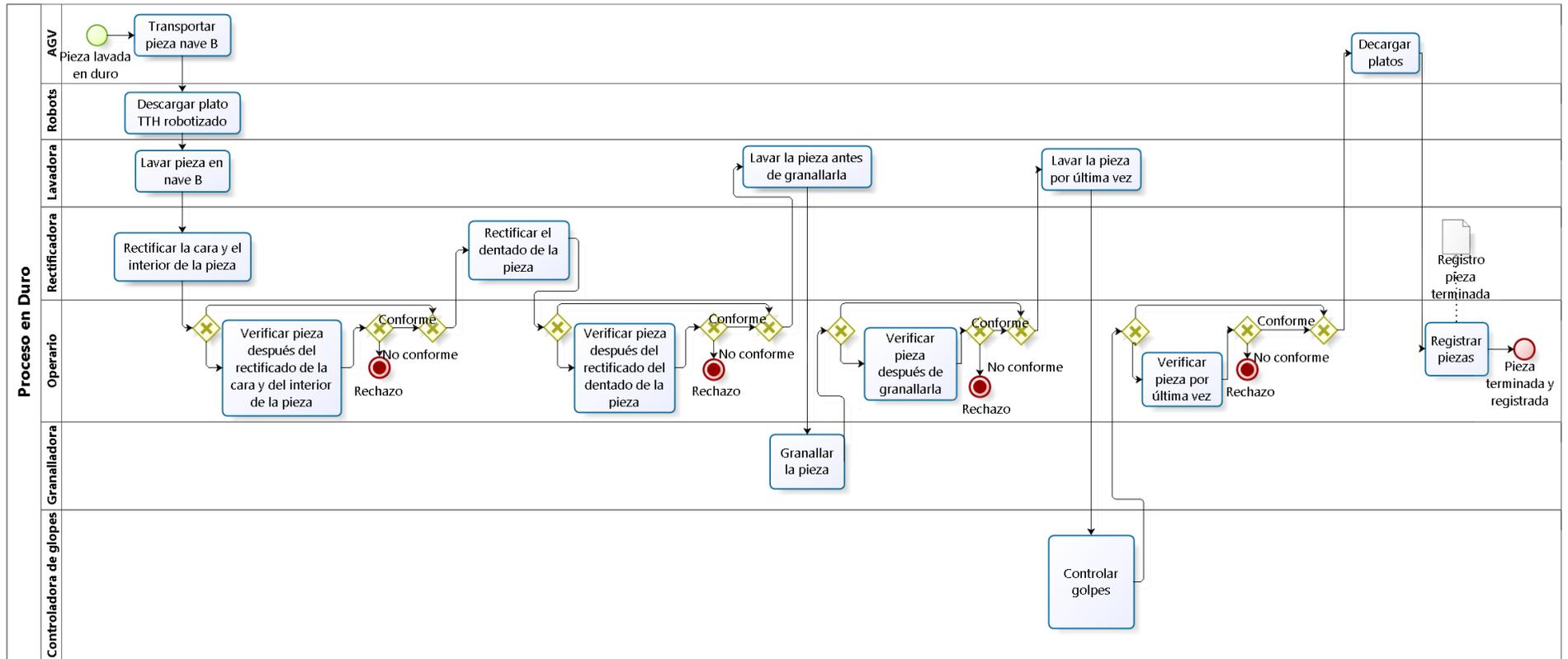


Figura 33. Subproceso Proceso en duro del modelo estático TO-BE

A continuación se puede observar el modelo de primer nivel del modelo dinámico TO BE, formado a su vez por tres submodelos (Figura 34).



Figura 34. Primer nivel del modelo dinámico TO-BE

Además se puede apreciar como el recurso del carterillero desaparece y se sustituye por la AGV y pasa a ser un tiempo constante (Figura 35).

Process

Name: Transportar pieza a TTH Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Release Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, AGV, 1
- <End of list>

Buttons: Add... Edit... Delete

Delay Type: Constant Units: Minutes Allocation: Value Added

Value: 15

Report Statistics

Buttons: OK Cancel Help

Figura 35. Recurso AGV en el modelo dinámico TO-BE

Se han ido reintroduciendo las distintas fases de los subprocesos y los distintos valores temporales y porcentajes para poder llevar a cabo la simulación. Los resultados de la simulación se van a mostrar en el siguiente apartado junto con los datos de la simulación AS-IS.

5.3 Comparativa AS-IS/TO-BE

En las Tabla 3 y Tabla 4. Comparativa AS-IS/TO-BE en Duro se muestran los resultados obtenidos en la simulación, tanto del modelo AS-IS como del modelo TO-BE en los dos procesos conflictivos como son el proceso en Tratamientos Térmicos (TTH) y el proceso en Duro (Duro). En cada tabla se muestran los tiempos de espera y de utilización de los recursos para cada objeto del modelo, además de los tiempo de valor añadido (VA Time), tiempo de espera (Wait Time) y tiempo total (Total Time) en general de todo el proceso. Para cada uno de ellos se muestra la media, el mínimo (Min.) y el máximo (Max.) y el número de observaciones (Obs.). Se han simulado unas 1000 piezas para que se pudiera ver la diferencia del transporte ya que los lotes que se forman para transportar las piezas constan de 108.

Tal y como se puede observar en la Tabla 3, en el proceso de TTH, el tiempo que han tardado las piezas en completarlo, ha disminuido de 55.607 minutos que se tardó en procesar el modelo AS-IS a 55.103 minutos que ha tardado el modelo TO-BE en terminar. Con ello, se puede deducir que el tiempo no ha reducido drásticamente debido a que, a pesar de haber solucionado el cuello de botella en el transporte, sigue habiendo actividades en el proceso que hace que este tiempo siga siendo muy elevado, como por ejemplo, el tiempo de espera de la actividad “Descargar plato en el horno” que se puede ver en la Tabla 3. Por otro lado, el transporte ha sido mejorado ya que el tiempo de espera de las piezas para ser transportadas pasa de ser 2.859 minutos a ser cero. Esta mejora conlleva, como se ha expuesto anteriormente, que otras actividades, como son las de descargar plato en el horno y la de carbonizar las piezas, aumenten excesivamente sus tiempos de proceso generando otros cuellos de botella. Esto puede apreciarse claramente en la utilización de los recursos, en la que se ve que el único recurso que tiene una optimización correcta es el horno, quedando el resto muy desaprovechados.

En la Tabla 4 se muestra la comparativa AS-IS/TO-BE en el proceso en duro. En este proceso, en comparación con el de TTH sí que hay un cambio brusco en los tiempos que han tardado las piezas en completarse, siendo de un total de 8429 minutos en el modelo AS-IS y 1104 minutos en el modelo TO-BE. Al igual que en TTH, el transporte ha sido mejorado hasta el punto de que las piezas no tienen que esperar, ha disminuido el tiempo de espera de 3788 minutos a cero. En cambio, el resto de actividades han aumentado sus tiempos de espera generando otros cuellos de botella nuevamente. Por el contrario, todos los recursos han aumentado su utilización, excepto el AGV, que se queda más libre debido a que hay más tiempos de espera en otras actividades y tiene que esperar más tiempo para poder realizar el transporte.

<i>TTH</i>	AS-IS				TO-BE			
	Media	Max.	Min.	Obs.	Media	Max.	Min.	Obs.
VA Time	868.62	1404.00	493.16	918	65.72	65.82	65.72	918
Wait Time	27173.00	54097.00	17.00	918	27472.00	54932.00	17.00	918
Total Time	28042.00	55501.00	583.93	918	27538.00	54997.00	82.72	918
Tiempos de espera								
Transporte	2859.00	5839.9	0.00	9	0.00	0.00	0.00	9
Verificar pieza en control	0.00	0.00	0.00	11	0.00	0.00	0.00	11
Descargar plato en el horno	15.15	30.30	0.00	918	93.772	187.10	0.00	918
Lavar pieza en TTH	0.00	0.00	0.00	918	0.00	0.00	0.00	918
Carbonizar pieza en el horno	24293.00	48227.00	0.00	918	27.372	54744.00	0.00	918
Utilización recursos								
Horno	0.99	1.00	0.00		0.99	1.00	0.00	
Carretillero / AGV	0.13	1.00	0.00		$8.17e^{-0.4}$	1.00	0.00	
Operario TTH	0.01	1.00	0.00		0.01	1.00	0.00	
Lavadora	0.01	1.00	0.00		0.01	1.00	0.00	

Tabla 3. Tabla comparativa AS-IS/TO-BE en TTH

<i>DURO</i>	AS-IS				TO-BE			
	Media	Max.	Min.	Obs.	Media	Max.	Min.	Obs.
VA Time	925.08	2037.80	484.18	918	9.07	9.60	7.32	918
Wait Time	3.868,80	7841.60	44.33	918	636.85	996.56	44.33	918
Total Time	4793.90	8328.90	557.62	918	645.92	1005.70	53.40	918
Tiempos de espera								
Transporte	3788.10	7721.0	0.00	9	0.00	0.00	0.00	9
Lavar pieza en Nave B	9.65	20.18	0.00	918	80.93	161.68	0.00	918
Descargar plato y registrar piezas	4.54	25.90	0.00	916	43.06	218.15	0.00	915
Rectificar la cara y el interior de la pieza	17.75	35.78	0.00	918	157.77	315.55	0.00	918
Controlar golpes	0.81	2.80	0.00	916	7.17	24.73	0.00	917
Verificar la pieza después de granallarla	5.77	21.17	0.00	9	68.33	212.85	0.17	15
Lavar la pieza antes de granallarla	3.90	19.80	0.00	916	33.01	161.25	0.00	917
Verificar la pieza después del rectificado	8.26	28.28	0.68	10	101.59	206.08	.068	8
Verificar la cara después del rectificarla	12.85	29.35	0.00	6	49.900	188.75	0.00	6
Descargar plato robotizado	15.15	30.30	0.00	918	107.51	218.20	0.00	918
Rectificar el dentado de la pieza	22.54	35.73	0.53	918	197.81	315.73	0.53	918
Granallar la pieza	0.16	1.67	0.00	916	1.33	13.53	0.00	917
Verificar la pieza por última vez	3.07	7.00	0.00	10	32.02	73.70	0.00	7
Utilización recursos								
Granalladora	0.05	1.00	0.00		0.40	1.00	0.00	
Controladora	0.06	1.00	0.00		0.50	1.00	0.00	
Carretillero / AGV	0.98	1.00	0.00		0.04	1.00	0.00	
Rectificadora	0.12	1.00	0.00		0.89	1.00	0.00	
Operario duro	0.12	1.00	0.00		0.92	1.00	0.00	
Lavadora	0.09	1.00	0.00		0.68	1.00	0.00	

Tabla 4. Comparativa AS-IS/TO-BE en Duro

6 CONCLUSIONES

Una vez finalizado el presente Trabajo de fin de Grado, se concluyen las siguientes ideas que han sido sacadas de todo el estudio.

En primer lugar, en el capítulo 1 se veía como se iba a estructurar el trabajo con una pequeña introducción de todos lo demás, dejando claramente explicadas las pautas que iba a seguir el estudio posteriormente.

Seguidamente, dónde verdaderamente empezó el contenido del Trabajo fue en el capítulo 2 dónde se pudo apreciar cómo se describe la historia de Renault, la fabricación de sus productos y la Factoría de Sevilla en concreto; mostrando un marco teórico en el que ha sido enmarcado nuestro Trabajo. Así cómo se ha podido aprender el entorno productivo en el que se ha llevado a cabo.

En el capítulo 3 se desarrolla la teoría en la que se ha basado el Trabajo para poderlo llevar a un caso práctico. Tanto qué es un proceso de negocio, como qué es el BPMModeling y BPMManagement. Con ello, se explica cómo se ha elegido el proceso en cuestión para analizarlo a través de la técnica BPMNotation y de la herramienta Bizagi Modeler, capaces de resolver problemas de esta índole, como es el cuello de botella que sufría esta línea por culpa del transporte.

Al igual que se ha dicho anteriormente, en el capítulo 4, centro de nuestro Trabajo, se han aplicado todos los conocimientos teóricos a un caso práctico. Se ha tratado de la línea que más problema da en la fábrica y la que cuenta con un mayor tiempo de paso. Además, se ha descrito a fondo y estudiado tanto los tiempos como los porcentajes de verificación y de rechazo; analizando tanto el modelo estático AS-IS como el dinámico con la simulación en el que se han apreciado bastante mejor los problemas de la línea. Surgió un problema con el software que se decidió utilizar, ya que no permitía introducir una cola para las piezas, y entonces las piezas debían ser transportadas una a una según el mismo, cosa que no tenía mucho sentido en una línea de mecanizado. Concluyendo, se tuvo que buscar otro software de simulación que permitiera poder realizar las colas del transporte y así, ser más real el estudio. Este fue Arena Simulation, con el que, finalmente, se ha realizado tanto la simulación del modelo AS-IS como la del modelo TO-BE.

Para terminar, en el capítulo 5, se realizó las propuestas de mejora y el estudio del modelo TO-BE, tanto estático, como el dinámico. También, en el último apartado del mismo, se ha dejado plasmado los resultados y el análisis de la comparación de resultados de los modelos AS-IS y TO-BE, en el proceso de TTH y de Duro.

En conclusión, el proceso de mecanizado de las coronas ha sido mejorado a través de la mejora del transporte, ya que ha sido reducido el tiempo de espera del mismo a cero. Y, aunque esto ha llevado a tomar conciencia de que sigue habiendo cuellos de botellas en la línea, se ha mejorado el proceso de forma puntual. Las futuras mejoras deberían empezar por estudiar el tiempo de espera que genera el horno en tratamientos térmicos porque es muy elevado. Y, una posible mejora para el mismo podría ser la compra de nuevos hornos y hacer que estos funcionen de forma paralela.

REFERENCIAS

- [1] Bran, F., Balu, F. O., & Ioan, I. (2015). Successful business strategies for emerging countries. Case study: Renault romania. *Quality - Access to Success*, 16, 413-423.
- [2] Bsp-Historia del Grupo. (2017). Renault.es. Retrieved 27 January 2017. Disponible en: <http://www.renault.es/descubre-renault/grupo-renault-espana/historia-grupo.jsp>.
- [3] Data base. *Factoría de Renault S.A. Factoría de Sevilla*, 2016.
- [4] Laperche, B., Lefebvre, G., & Langlet, D. (2011). Innovation strategies of industrial groups in the global crisis: Rationalization and new paths. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(8), 1319-1331. doi:10.1016/j.techfore.2011.03.005
- [5] Object Management Group/Business Process Management Initiative. (2011). Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0. Disponible en: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>.
- [6] Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2013). *Fundamentals of business process management* (Vol. 1, p. 2). Heidelberg: Springer.
- [7] P. Pérez González, *Apuntes de Reingeniería de Procesos*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla, 2016.
- [8] Motahari-Nezhad, H. R., Recker, J., & Weidlich, M. (2015). *Business Process Management*. Springer International Publishing.
- [9] Cez, V. (2017). *Software BPMN para el modelamiento de procesos - Descarga gratuita*. [online] Bizagi.com. Available at: <http://www.bizagi.com/es/productos/bpm-suite/modeler>.
- [10] Bizagi Process Modeler, *Guía del usuario*. Disponible en: sitio web oficial de Bizagi , 2017.
- [11] Corel Corporation (2003). *Model performance an integrated approach to automotive process management*.
- [12] Nurbanum, M., Nasurdin, A. M., Ahmad, N. H., & Wong, W. P. (2013). What affects the extent of business process management implementation? An empirical study of Malaysia's manufacturing organizations. *Operations Management Research*, 6(3-4), 91-104.

ANEXO

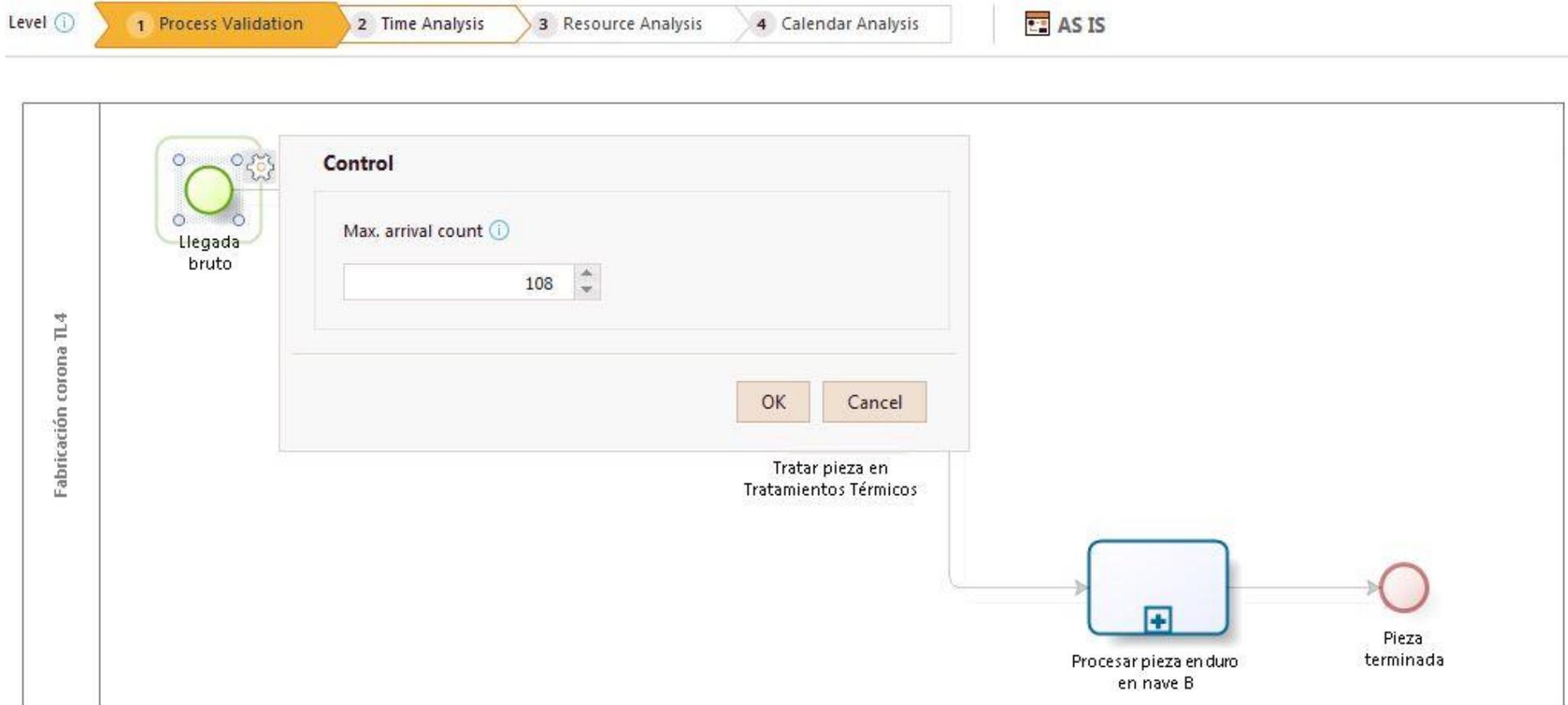


Figura 36. Primer paso simulación Bizagi – “Process Validation”

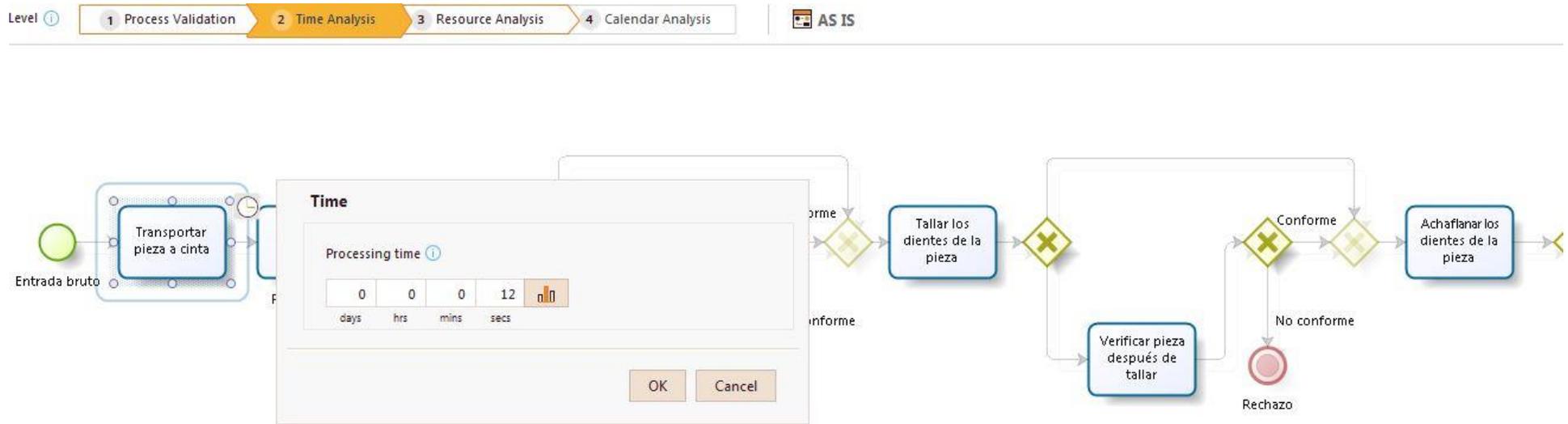


Figura 37. Segundo paso simulación Bizagi – “Time Analysis”

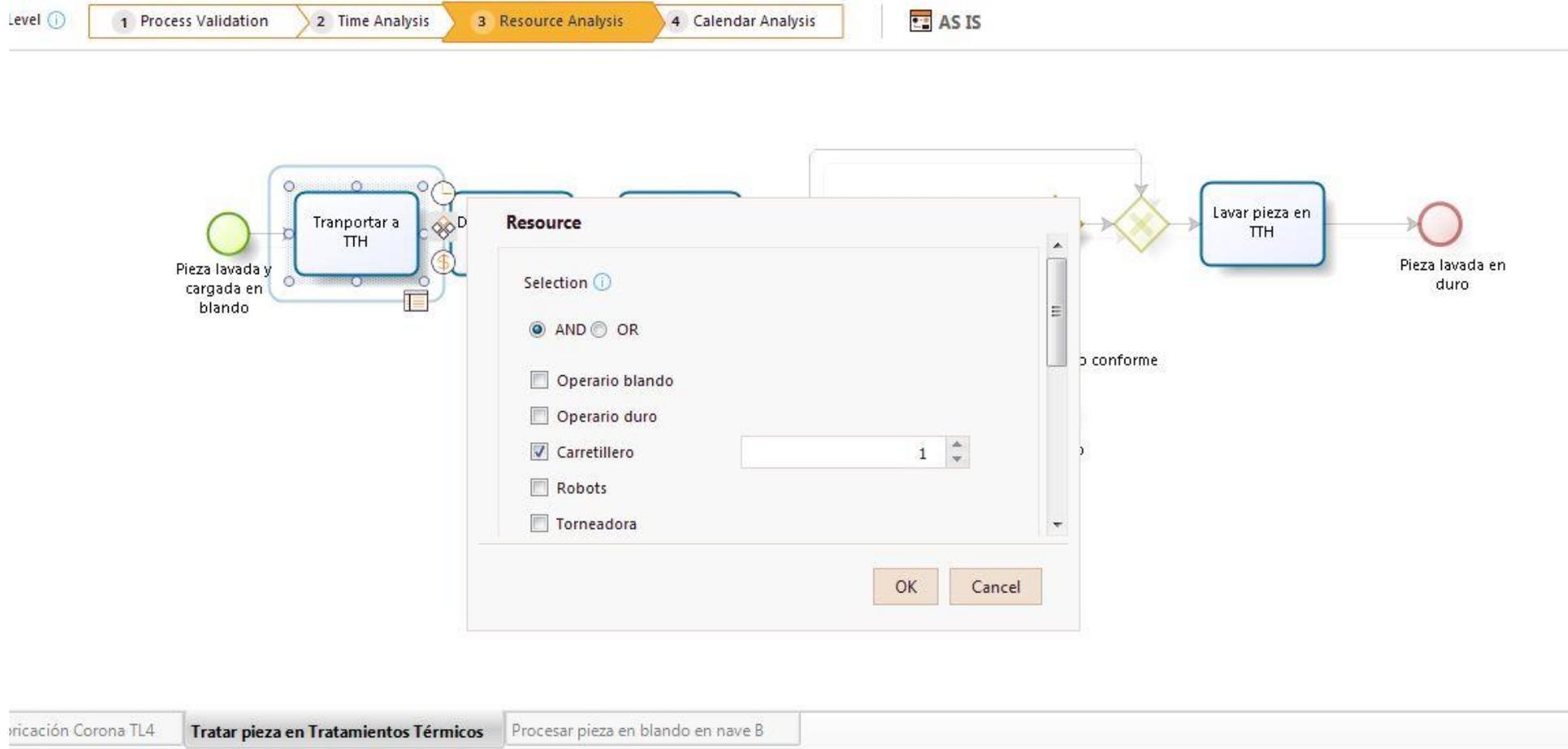


Figura 38. Tercer paso simulación Bizagi – “Resource Analysis”

The image displays the 'Calendar Analysis' step in a Bizagi simulation. A 'Calendars' dialog box is open, showing the configuration for a calendar named 'Mañana'. The dialog includes the following settings:

- Name:** Mañana
- Start time:** 08:00 AM
- Duration:** 8 hours
- Recurrence pattern:** Weekly, Recurs every 1 weeks on:
 - Sunday
 - Monday
 - Tuesday
 - Wednesday
 - Thursday
 - Friday
 - Saturday
- Range of recurrence:** No end date, Start: 10/20/2016

The background process flow shows the following steps:

- Pieza lavada en duro (green circle)
- Transportar pieza nave B (blue box)
- Rectificar el dentado de la pieza (blue box)
- Verificar pieza después del rectificado del dentado de la pieza (blue box)

The bottom status bar indicates the following active processes:

- abricación Corona TL4
- Tratar pieza en Tratamientos Térmicos
- Procesar pieza en blando en nave B
- Procesar pieza en duro en nave B

Figura 39. Cuarto paso simulación Bizagi – “Calendar Analysis”