



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA DE FABRICACIÓN

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 19010010

IMPLANTACIÓN DE METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING EN EMPRESA DEL SECTOR METAL MECÁNICO DEDICADA A LA FABRICACIÓN DE GRANDES ESTRUCTURAS METÁLICAS

Dña. Balda Criado, Celia
TUTOR: D. Eduardo Cuesta González

FECHA: Junio 2019

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción.....	5
1.1. Planteamiento y objetivos	5
1.2. Estructuración del trabajo.....	6
Capítulo 2. Descripción de la empresa.....	7
2.1. Descripción general.....	7
2.2. Introducción al proyecto	8
Capítulo 3. Lean Manufacturing.....	11
3.1. Introducción a la gestión del conocimiento.....	11
3.2. Definición y orígenes del Lean Management	12
3.3. Principios	13
3.4. Herramientas.....	16
3.4.1.- Mapeo de flujo de valor: VSM	16
3.4.2.- SMED.....	18
3.4.3.- Las 5S.....	19
3.4.4.- KANBAN	20
3.4.5.- Grupos Kaizen de mejora continua.....	20
Capítulo 4. Organización actual	22
4.1. Descripción del producto	22
4.2. Descripción de responsables.....	24
4.3. Problemática: Estado inicial de la producción	25
Capítulo 5. Análisis del proceso	27
5.1. Introducción	27
5.2. Desarrollo del diagrama de flujo.....	28

5.2.1.- Actividad 1: Actividades relativas a acopios de material y gestión de componentes que NO requieren de soldadura.....	31
5.2.2.- Actividad 2: Beams.....	35
5.2.3.- Actividad 3: Laterales.....	41
5.2.4.- Actividad 4: Galvanizado.....	48
5.2.5.- Actividad 5: Ajuste y Envío.....	48
5.2.6.- Actividad 6: Gestión de stock	60
5.3. Determinación de takt time	61
5.4. Realización de VSM estado actual	62
Capítulo 6. Propuesta de implantación.....	64
6.1. Nuevo Layout	64
6.2. Distribución del personal	65
6.3. Propuestas asociadas al análisis del proceso.....	66
6.4. Propuestas asociadas al VSM.....	69
6.5. Actuación en Ajuste	70
6.6. Actuación en Mecanizado	73
Capítulo 7. Planificación y Horizonte temporal	75
Capítulo 8. Conclusiones	77
Capítulo 9. Coste de realización de Proyecto	80
9.1. Introducción	80
9.2. Desglose de partidas	80
9.2.1.- Presupuesto de Ingeniería	80
9.2.2.- Equipos informáticos y software	80
9.2.3.- Otros conceptos.....	81
9.3. Coste del proyecto	82



Capítulo 10. Bibliografía 83

Capítulo 1. Introducción

1.1. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivo sentar las bases para la implantación de la metodología de producción industrial conocida como Lean Manufacturing en una empresa dedicada a la fabricación de bienes de equipo de tipo metalmecánico de gran tamaño, la cual se enfrenta al reto de implementación de una línea de fabricación seriada de una gran estructura metálica.

El proyecto surge tras la realización en 2017 de dos prototipos de estas estructuras. El cliente, tras expresar su satisfacción con los resultados obtenidos, adjudicó la producción durante el año 2018 de 48 unidades más, la cual fue realizada íntegramente en las instalaciones habituales de la empresa. Durante este tiempo, se adquieren nuevas naves con el fin de satisfacer únicamente las necesidades de producción de esta estructura y comienzan las obras de acondicionamiento e instalación de equipos para el traslado de la producción. En 2019, dicha producción asciende a las 100 unidades anuales. Al inicio de este proyecto, en febrero de 2019, se hace efectivo el traslado de parte de la producción a estas nuevas instalaciones, encontrándose esta en un periodo de transición. No obstante, a pesar de las circunstancias especiales, se quiere invertir esfuerzos en la implementación en esta nueva línea de fabricación seriada de la filosofía *lean*, con el objetivo de generar una ventaja competitiva. Para su materialización se realizará un análisis de la situación actual, haciendo uso de diferentes herramientas, proponiéndose mejoras, y tratando de implantarlas, y finalmente comprobando los resultados de su aplicación si esto fuera posible.

Se señala a petición expresa de la empresa, que ha permitido la realización de este trabajo, que el mismo es estrictamente confidencial. Por ello, una parte de la documentación del mismo estará disponible únicamente en formato papel, excluyéndose de la versión electrónica (Memoria en PDF de este TFM). La documentación omitida se corresponde con los Anexos que acompañan a este trabajo, los cuales contienen los datos considerados más sensibles. Una copia impresa de estos será entregada al tribunal el día de la defensa. Se prohíbe además la difusión total o parcial del presente documento.

1.2. ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO

Se describen a continuación los diferentes capítulos en los que se estructuró el presente trabajo.

Capítulo 1: en el que se introduce, justifica y estructura el presente trabajo.

Capítulo 2: en el que se describe la organización en la cual se va a implementar el nuevo sistema de gestión industrial y se detalla la motivación del proyecto.

Capítulo 3: en el que se explica el origen, los fundamentos y las herramientas de las que dispone el Lean Manufacturing y que pueden ser empleadas en este caso de estudio.

Capítulo 4: en el que se describe el producto, a los responsables, y la situación de la organización en el momento en que se inicia este proyecto.

Capítulo 5: en el que se realiza el estudio del proceso desplegándose parte de las herramientas mencionadas en el Capítulo 3.

Capítulo 6: en el que se describen las deficiencias encontradas en diferentes áreas y se proponen posibles soluciones.

Capítulo 7: en el que se reflejan las fechas en las que fueron ejecutadas las distintas acciones, y se planifica la realización de las restantes.

Capítulo 8: en el que se exponen las conclusiones alcanzadas.

Capítulo 9: en el que se estima el coste de la realización de este proyecto.

Capítulo 10: en el que se detallan todas las referencias bibliográficas citadas y consultadas para la realización de este trabajo.

Capítulo 2. Descripción de la empresa

2.1.DESCRIPCIÓN GENERAL

La empresa colaboradora que ha servido de marco de estudio para este trabajo es Asturfeito S.A. [1] empresa española de referencia en ingeniería, fabricación y puesta en marcha de bienes de equipo en el sector metalmecánico. Fue fundada en 1975, siendo la actividad principal en sus orígenes el suministro de bienes de equipo para la industria del acero local.

Originalmente, se encontraba ubicada en Silvota, y posteriormente, fue trasladada al área industrial de Tabaza. Asturfeito S.A. inició un ambicioso plan de expansión en 1999, introduciéndose al mismo tiempo en mercados tan demandados como el del Oil&Gas, Nuclear y Defensa.



Figura 2.1. Instalaciones de Asturfeito S.A. en Tabaza [1]

En 2007 fue inaugurado el segundo, y más grande, taller de la compañía en el Polígono Empresarial del Principado de Asturias, PEPA, en Avilés, donde se pusieron en marcha las últimas tecnologías y métodos de fabricación. En el último año, también ha sido adquirido un nuevo taller en Silvota. Todo ello hace que, hoy en día, la empresa disponga de una superficie de más de 32 000 m² de instalaciones.



Figura 2.2. Instalaciones de Asturfeito S.A. en el PEPA [1]

Cuenta, por tanto, con más de 20 años de experiencia en el desarrollo de proyectos innovadores para grandes industrias, compañías tecnológicas y organizaciones científicas internacionales. Convirtiéndose así en uno de los suministradores más importantes de Europa.

Asturfeito S.A. factura más de 40 millones de euros, el 60% de los cuales proceden de mercados internacionales de todo el mundo. Actualmente dispone de una plantilla de entorno a los 230 trabajadores.

Se trata de una empresa dedicada a la fabricación de productos singulares con una atención adecuada a las necesidades de cada cliente, llevando a cabo todo el proceso desde la revisión de planos y propuesta de modificaciones de los diseños a los clientes para que la fabricación sea viable, hasta su montaje en destino en caso de ser necesario.

2.2.INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

En el año 2014 surge una joint-venture formada por dos empresas líderes globales en energía eólica offshore. Esta nueva entidad tiene como misión proveer a generaciones futuras de fuentes de energía renovables de una forma económicamente viable. Su visión consiste en la implementación de estas nuevas formas de energía de forma sostenible a largo plazo.

Cabe señalar en este punto que los mercados son muy cambiantes actualmente, y en ellos se detecta una competencia feroz. Si se pone el foco en el que nos ocupa, fabricación, instalación y explotación de la energía eólica offshore, se encuentra que es uno de los que

ha experimentado un mayor crecimiento en los últimos años [11]. Actualmente, la producción de energía eléctrica con esta tecnología es muy rentable, pudiendo competir con métodos de producción tradicionales. Como resultado, multitud de compañías quieren posicionarse como líderes en producción, y por tanto, los fabricantes han de ser competitivos en costes. Esta empresa nace pues para hacer frente a la necesidad de reducir costes y ganar músculo financiero en un mercado cada vez más agresivo.

Asturfeito S.A. recibe en 2017 la propuesta de fabricación de 2 unidades de skeletons, siendo estos las estructuras que componen las góndolas de los aerogeneradores, con la premisa de que, si el cliente quedaba satisfecho, se les encargaría una producción mucho mayor.

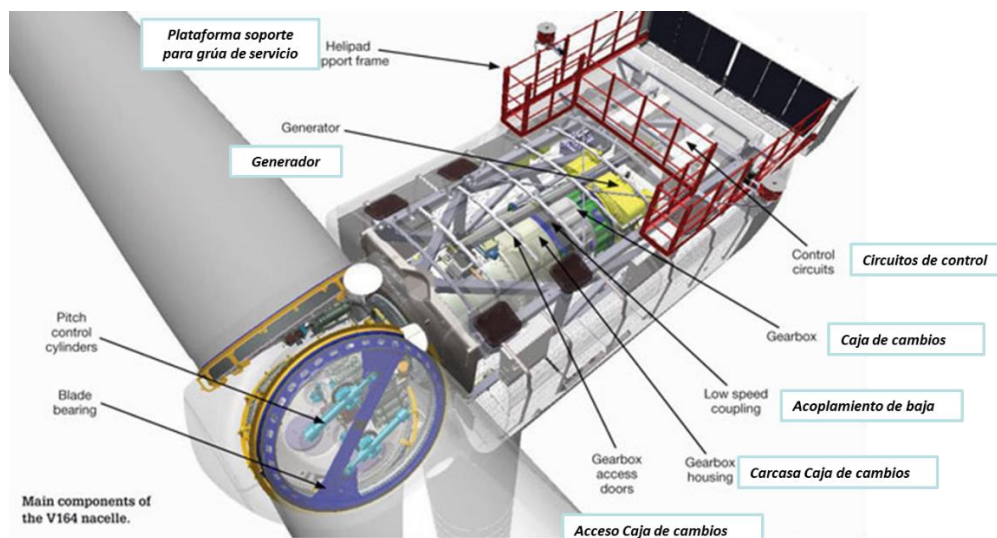


Figura 2.3. Esquema de Góndola de Aerogenerador (Imagen proporcionada por Asturfeito S.A.)

Una vez fabricados estos dos primeros prototipos, el cliente expresa su satisfacción con la calidad del resultado y el precio ofertado, de tal forma que se inicia la producción de 48 skeletons en 2018.

Con el proceso de fabricación en marcha y con la certeza de que si el proyecto continúa de forma satisfactoria los beneficios para la empresa pueden ser notables, Asturfeito S.A. afronta el hecho de que este acuerdo lleva parejo el establecimiento de un proceso de fabricación seriada. Hasta ese momento Asturfeito S.A. es una empresa que, si bien ha realizado pequeñas series, siempre ha desarrollado proyectos únicos y temporales.

Por ello, sus instalaciones son grandes y versátiles, permitiendo la adaptación de estas a las exigencias de los diferentes proyectos. Esto hace que los skeletons provoquen un gran consumo de recursos y espacio, y finalmente se opte por la adquisición de 2 nuevas naves industriales en el polígono de Silvota, las cuales serán empleadas exclusivamente para este proyecto.

Manteniéndose los resultados positivos, se cierra a mediados de ese mismo año un acuerdo de compra por 100 skeletons adicionales en 2019.

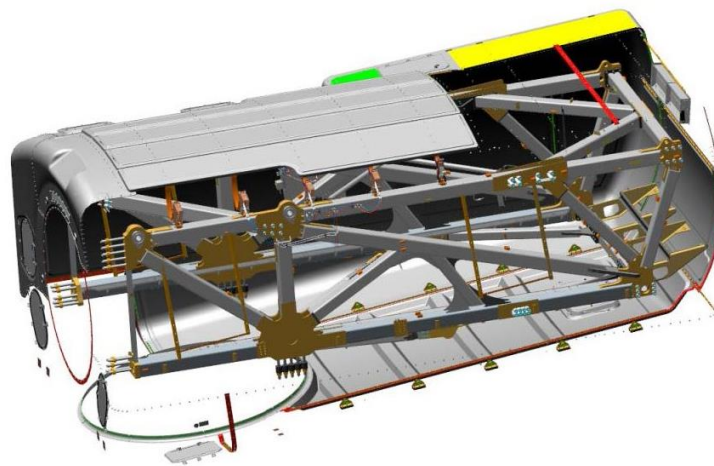


Figura 2.4. Esquema de colocación de Skeleton en góndola de Aerogenerador (Imagen proporcionada por Asturfeito S.A.)

La implementación de la metodología de Lean Manufacturing es considerada como la consecuencia lógica a la hora de afrontar este nuevo reto, y poder posicionarse por encima de sus competidores. Además, el cliente es partidario de que todos sus suministradores adopten progresivamente esta filosofía de trabajo. Por todo ello se comienzan a dar pasos en su implementación propiciándose la realización de este Trabajo Fin de Máster.

Capítulo 3. Lean Manufacturing

3.1.INTRODUCCIÓN A LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

La globalización ha provocado una liberalización de la oferta, la cual unida a la, cada vez mayor, reducción de costes en los transportes da como resultado que los clientes tengan a su disposición un gran abanico de suministradores viables. Por tanto, realizarán su compra a aquel que les aporte aquello que más valoren. Como consecuencia, los fabricantes deben centrarse en determinar cuáles de todas las actividades que realizan sobre su producto ofertado aportan el valor esperado por el cliente [4].

Uno de los factores que puede considerarse determinante a la hora de alcanzar el objetivo descrito es la gestión del conocimiento dentro de la propia empresa, lo cual da lugar a una ventaja competitiva en sí misma [5]. Debido a esta característica que hace del conocimiento algo etéreo y conceptual, se tienen distintas formas de entender y clasificar el conocimiento [6]. Las empresas han tomado conciencia a este respecto y dan a este activo intangible una mayor importancia, por lo que generar, recopilar y explotar este conocimiento que normalmente está en posesión de individuos concretos es fundamental, para que en caso de que alguno de los agentes participantes decida abandonar la empresa ese conocimiento no se pierda [7].

La ingeniería basada en el conocimiento, en adelante KBE por sus siglas en inglés (Knowledge Based Engineering) es un concepto que engloba un conjunto de herramientas empleadas para albergar el conocimiento de todos los agentes implicados en el proceso de fabricación de un producto y la implementación de este en entornos multidisciplinares para lograr una mayor competitividad, es decir, es una puesta en práctica de la gestión del conocimiento, pues se integra en el proceso este último, equipos y sistemas, normativas relevantes y la organización de la propia empresa.

El uso de este sistema lleva parejo el desarrollo de software que, en última instancia, permitirá gestionar este conocimiento, como por ejemplo, el desarrollo de un Sistema de Fabricación Integrada por Ordenador, CIM por sus siglas en inglés (Computer Integrated Manufacturing), que combina los sistemas integrados y comunicaciones de datos junto con

nuevos métodos de gestión que mejoran tanto la eficiencia organizativa como del personal [8].

Una forma visual y útil de comenzar a introducir la tecnología KBE en una organización es el uso de diagramas IDEF 0, los cuales, permiten llegar a obtener una visión detallada de la realización de una actividad compleja [9]. Se trata de diagramas jerárquicos formados por bloques que representan actividades, cada una de las cuales poseen entradas, entendiéndose como tales a los elementos que van a sufrir una transformación, salidas, correspondiéndose con el producto transformado, reglas, que son el conjunto de condiciones que deben de cumplirse en el desarrollo de la actividad, y recursos, siendo estos todo el equipo, lugar, personal, etc. necesarios para que la actividad se desarrolle. Por tanto, son una herramienta útil para adquirir un conocimiento profundo del proceso para después, poder cambiarlo.

3.2.DEFINICIÓN Y ORÍGENES DEL LEAN MANAGEMENT

Tal y como se introdujo en el anterior apartado, la evolución en la organización industrial está orientada a la detección de aquellos procesos que aportan “valor” para el cliente. Este es el objetivo último de la filosofía conocida como *Lean Management* que aplicado a la fabricación de bienes es también llamado *Lean Manufacturing*. Este término, que aparece por primera vez mencionado en “*La máquina que cambió el mundo*” [25] define el sistema organizativo por el cual la meta de la producción es satisfacer qué, cómo, cuándo y en qué cantidad, desea el cliente su producto. Es el conjunto de acciones sistemáticas que permiten detectar qué actividades no aportan valor al proceso, pero que sí suponen un coste y recursos, y que son reconocidas como “waste”, desperdicios. Se distinguen siete tipos básicos de desperdicio [10]: sobreproducción, inventarios, defectos de calidad, exceso de procesamiento, movimientos innecesarios, esperas y transportes. A los que, de acuerdo con Wyrwicka et al [18], pueden ser añadidos el talento desperdiciado y condiciones de trabajo inseguras o no ergonómicas.

En definitiva, la filosofía *lean* está totalmente orientada hacia el cliente, es decir, a llevar a cabo actividades por las que este esté dispuesto a pagar porque las considera valiosas, mientras que tal y como expone Cuatrecasas [14]: “*Una organización que aplique*

una sistemática tradicional se centra en perseguir objetivos como la productividad o resultados económicos, centrándose siempre en sí mismos sin una razón aparente más allá de generar beneficios. Sin embargo, si una organización al completo se centra en lo que el cliente desea, los beneficios serán una consecuencia del cambio de modelo organizacional.” Por tanto, para aplicar esta filosofía con éxito es clave que se produzca un cambio de la cultura organizacional de la empresa.

A este respecto se tiene que uno de los principales desperdicios que se encuentran en cualquier empresa que está tratando de implementar esta filosofía es la propia transferencia de información. Normalmente las organizaciones presentan una serie de niveles verticales jerárquicos muy definidos mientras el valor en un producto fluye horizontalmente, cruzando departamentos diferentes que en ocasiones tienden a operar de forma muy independiente a causa de la falta de una comunicación formal.

Toyota, fue la primera empresa que puso en marcha las prácticas asociadas al Lean Management sentando así las bases de la aplicación de esta metodología, y convirtiéndose en un referente a nivel mundial.

Su sistema productivo, conocido como “Just in Time”, permite la reducción de los tiempos de entrega, manteniendo flexibilidad ante los cambios disponiendo de las partes que componen un producto cuando se necesitan, pero de tal forma que el stock sea el mínimo para satisfacer esa necesidad [23]. Los resultados obtenidos tras su aplicación provocaron una revolución, propiciando un cambio en el modelo productivo de muchas empresas que decidieron adaptar los métodos de Toyota a sus necesidades.

Tal es así, que en el año 2001 se publicó el libro *“The Toyota Way: 14 Management Principles from the World’s Great Manufacturer”* [11] cuyos principios se expondrán de forma resumida en el siguiente apartado.

3.3.PRINCIPIOS

La sistemática de trabajo de Toyota se fundamenta en 14 principios que se encuentran clasificados en cuatro grandes categorías, las 4P (Figura 3.1) definidas por Jeffrey Liker [11], [12].

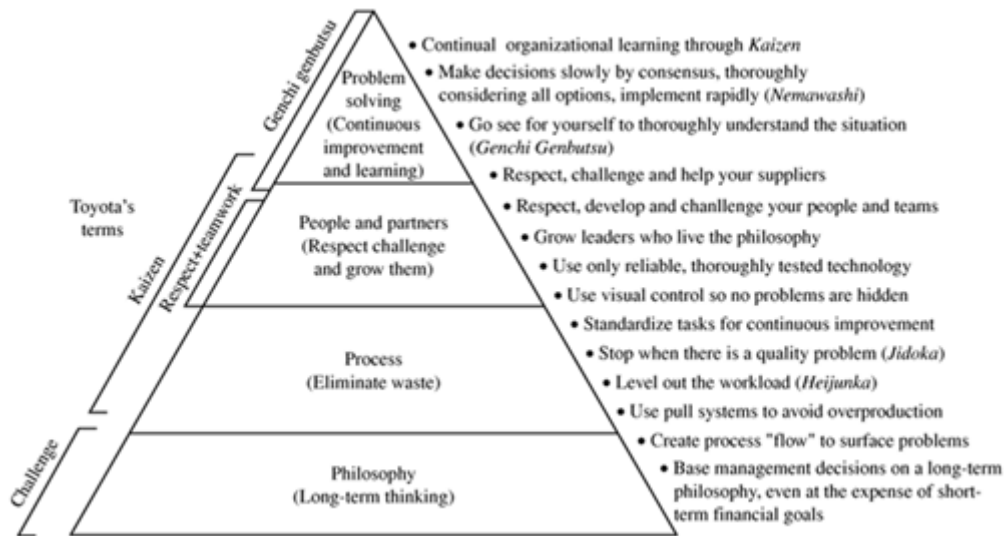


Figura 3.1. Modelo 4P desarrollado por Liker [11]

En primer lugar, se encuentra “el pensamiento a largo plazo”, con un único principio asociado.

- Las decisiones han de ser tomadas pensando en sus consecuencias en el futuro, llegando incluso a dejar de lado los objetivos económicos a corto plazo.

La segunda sección se corresponde con que “el proceso adecuado producirá los resultados correctos”. Esta visión se ve materializada en siete principios.

- Conseguir un flujo continuo en los procesos para que los problemas puedan ser detectados y solucionados en cuanto emerjan y no queden cubiertos, por ejemplo, bajo niveles de stock. En definitiva, se trata de detectar y minimizar, si no es posible eliminar, los desperdicios listados en el apartado anterior, esto es lo que se conoce como *muda*.
- Utilizar sistemas “pull” en lugar de los sistemas “push” tradicionales para evitar producir en exceso. La producción comienza cuando ya se ha vendido, de tal forma que se opere hacia atrás, partiendo de la demanda del cliente final, y consiguiéndose que la producción se ajuste a la misma. Así, cada operación del proceso demandará a su antecesora lo que necesite.

- Nivelar la carga de trabajo, *heijunka*, tanto por volumen como por mezcla de productos para evitar niveles de producción desiguales, *mura*, llegando a conseguir hacer lo mismo todos los días. Por otro lado, no sobrecargar al personal, *muri*, evitando a su vez, que haya personas que tengan más carga de trabajo que otras.
- Crear una cultura que asuma la parada de la producción para resolver los problemas, como una forma de alcanzar el resultado esperado a la primera. Esto es operar de acuerdo con el *jidoka*, que no deja de ser un sistema de control de calidad que obliga a no producir más cuando el primer defecto es detectado, corregir inmediatamente lo que lo produce, para identificar a continuación la causa raíz en base al conocimiento colectivo y evitar que vuelva a ocurrir.
- Utilizar el control visual para garantizar que los problemas no permanecen ocultos.
- Incorporar únicamente aquella tecnología que sirva a los operarios y a los procesos, es decir, antes de introducirla establecer cómo, con qué fin y en qué mejora al proceso.

El tercer nivel se centra en “añadir valor por medio del desarrollo de las personas que forman parte de la organización” incluyendo a los socios. Los tres principios asociados a esta categoría son:

- Contar con líderes que entiendan el trabajo en profundidad, que comprendan la filosofía de tal forma que influya en la manera en que se piensa, y que sean capaces de transmitirla al resto.
- El trabajo en equipo, y no el individual, es la base del éxito.
- El respeto ha de ser el pilar fundamental de las relaciones tanto con compañeros como con suministradores. Plantear retos a estos últimos y ayudarlos a mejorar, es una clave de éxito.

Finalmente, en la cúspide de la pirámide se encuentra la “resolución de problemas” fundamentada en tres principios:

- Ir a donde ocurre, *genchi genbutsu*, para así poder entender la situación por completo.
- Tomar decisiones de forma meditada y consciente, considerando todas las opciones viables, para poder llevar a cabo una implementación rápida.
- Aprendizaje a través de la reflexión y mejora continua, *kaizen*, de tal forma que la organización sea capaz de criticar lo que ella misma hace para poder mejorar.

3.4.HERRAMIENTAS

Simultáneamente al desarrollo de la filosofía *lean*, una serie de prácticas asociadas a la misma fueron creadas para materializar la implementación del nuevo sistema de producción. En los siguientes apartados se expondrán algunas de las más conocidas y habituales, entre las que se encuentran aquellas que se tratarán de implementar en la empresa objeto de estudio.

3.4.1.-Mapeo de flujo de valor: VSM

El mapeo de flujo de valor, en adelante VSM por sus siglas en inglés (Value Stream Mapping) es definido por Rother *et al.* [13] como *“todas aquellas acciones, tanto las que aportan valor, como las que no, requeridos para transformar la materia prima en el producto deseado por el cliente final, así como los flujos esenciales de información para la obtención de este”*.

Se trata de una herramienta que en primer lugar, sirve para visualizar el proceso de producción de tal forma que se puedan detectar fácilmente aquellas áreas que pueden ser fuente de desperdicios, pudiendo así mejorarlas o incluso eliminarlas.

La realización de este ejercicio es una forma de recoger información valiosa de la organización, ayudando a validar la implementación de herramientas *lean*. En definitiva, se utiliza para el diagnóstico, la implementación y el mantenimiento de un sistema *lean*. Entre la información que muestra se tiene los inventarios, los tiempos de proceso, los tiempos de entrega y de espera, el número de operarios, el número de variantes del producto, el tiempo de trabajo...

De forma pareja a la realización del VSM, conviene calcular el denominado *takt time*, que es el ritmo al que ha de avanzar la producción [14]. Se trata de un indicador que refleja la frecuencia con la que compra el cliente. Se calcula como:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible\ para\ operar}{Producción\ a\ obtener\ (Demanda)}$$

Este tiempo se convertirá entonces en el tiempo de proceso, es decir, aquel que transcurre desde que se entrega una unidad acabada hasta que se obtiene la siguiente, entregándose una unidad de cada puesto de trabajo al siguiente al mismo ritmo. Por tanto:

- Todos los puestos de trabajo deberán operar al ritmo de takt time.
- Se producirá un nivelado de la producción.

A partir de esta fotografía global, se puede llegar a determinar cuál es el cuello de botella del proceso, dónde deben de centrarse en primera instancia las acciones de mejora. A su vez, otras cuestiones como la capacidad del sistema de producción, la tasa de compra del cliente, capacidad disponible y utilización, y cuáles son las restricciones del proceso, también pueden ser respondidas por el VSM [15].

El siguiente paso, sería dibujar el VSM del estado futuro en base a un plan de mejora. Si se decide complementar esta herramienta con la realización de simulaciones de aquellas mejoras que se desean implantar, se podrá detectar antes de implementarlas si el resultado de las mismas puede ser el esperado, o si se requiere alguna modificación.

Una vez alcanzado ese estadio futuro se iniciaría un nuevo ciclo, siguiendo por tanto un esquema de tipo PDCA de mejora continua (Figura 3.2). Es decir, se trata de una herramienta cuyo empleo no queda reducido a un único uso, si no que una vez introducida la empresa en la filosofía *lean* la propia sistemática incitará a seguir buscando puntos de mejora.

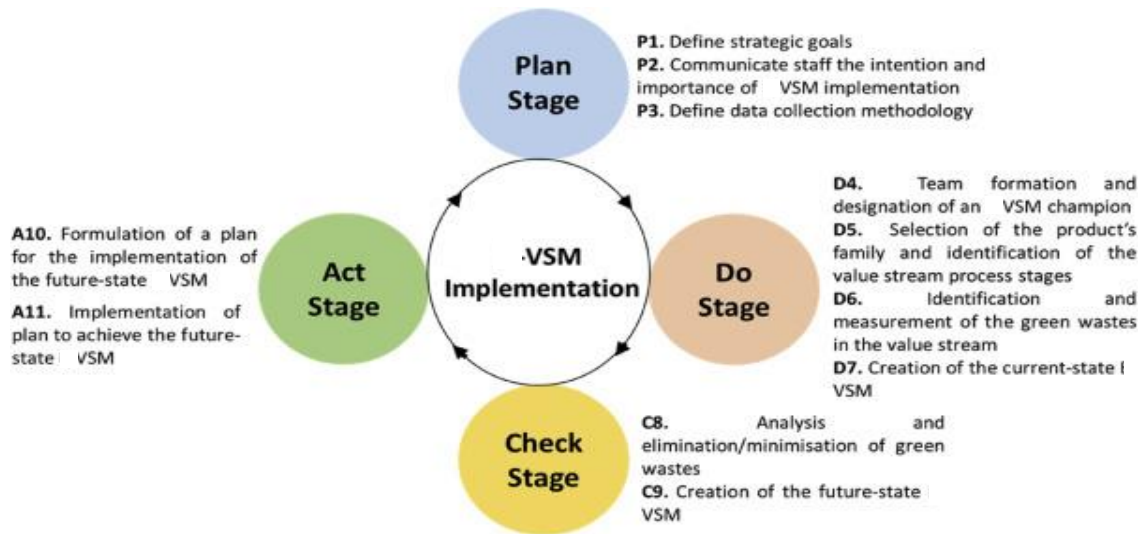


Figura 3.2 Metodología PDCA particularizada para la implementación del VSM [24].

3.4.2.-SMED

El término SMED (Single Minute Exchange Die), se trata de una metodología que permite reducir los tiempos de preparación cuando se tiene que pasar de producir un ítem a otro. Esta técnica permite idealmente reducir el tiempo de estos cambios a un tiempo inferior a 10 minutos, aunque a veces no sea posible.

Shingo [16], creador de este método, propone la división de las operaciones de preparación en dos grupos: internas y externas.

- Internas: se realizan con la máquina parada (por ejemplo, un cambio de bastidor de mecanizado)
- Externas: pueden ser realizadas con la máquina en funcionamiento (por ejemplo, la preparación de las herramientas necesarias para el cambio de ítem)

El siguiente paso consistiría en convertir el máximo número de actividades internas en externas, para luego organizar las actividades externas de acuerdo al orden lógico más eficiente. Finalmente, se trataría de disminuir el tiempo empleado en la realización de las operaciones internas.

La reducción de estos tiempos es en general una tarea ardua, pues conlleva mucho tiempo de observación y reflexión, así como una necesidad de hacer ver a los operarios que se puede mejorar, a pesar de que siempre se haya ejecutado el proceso de cierta manera.

3.4.3.-Las 5S

La metodología 5S, engloba cinco acciones relacionadas con el orden y la limpieza en el puesto de trabajo. Se trata de un concepto antagónico al modelo de producción tradicional, pues se pide a los empleados que dejen de producir y en su lugar, que mantengan el orden en su puesto de trabajo. Este procedimiento se encuentra íntimamente ligado con la reducción de desperdicios ya que de esta manera se evitan acciones que no aportan valor, como búsqueda de herramientas, materiales... ocupando además menos espacio. El nombre de 5S se debe a cinco términos japoneses que empiezan por esta letra:

- Seiri: Organizar. En el puesto de trabajo únicamente debe de permanecer lo indispensable para desarrollar las operaciones asociadas al mismo. Se puede utilizar un sistema de tarjetas rojas, por el cual, cuando un empleado detecta que un útil no se está empleando, se valore si ha de ser retirado.
- Seiton: Ordenar. Establecimiento de un sistema de almacenaje eficiente de manera que todo pueda ser encontrado con facilidad, y que se sitúe más o menos cerca del operario en función de su frecuencia de empleo. Creación de un espacio adecuado para guardar aquellas herramientas que no se estén empleando.
- Seiso: Limpiar e inspeccionar. Se ha de integrar la limpieza como parte de la rutina diaria en el trabajo. Un puesto de trabajo limpio aumenta la motivación, además de incrementar la calidad del proceso y la vida útil del utillaje. Una herramienta sencilla para poner en marcha es el establecimiento de una hoja de verificación y limpieza.
- Seiketsu: Estandarización. Una vez implementadas las tres anteriores se tiene que el puesto de trabajo contaría con lo que se necesita, donde se necesita y acondicionado de forma adecuada. Es entonces cuando se ha de estandarizar

el proceso creando manuales o procedimientos, plantillas para conservar el orden y formando al personal.

- Shitsuke: Disciplina. Todas aquellas medidas necesarias para cumplir el estándar creado y mantenerlo en el tiempo. Se pueden establecer chequeos rutinarios, primero semanalmente y después mensualmente, para dar cuenta del seguimiento.

Kaushik *et al.*[17],enumeran los pasos a seguir para la implantación del sistema, siendo el establecimiento de un coordinador para supervisión un factor fundamental, así como el entrenamiento de todo el personal. Una vez más, el compromiso de la organización es determinante para el éxito.

3.4.4.-KANBAN

Kanban fue definido por Graves *et al.* [19] como un mecanismo de control de flujo de material, de tal manera que este avanza en la cantidad y momento adecuados en todo momento. En definitiva, es la herramienta a través de la cual tradicionalmente, y mediante el empleo de tarjetas, se implementa un flujo *pull*. El esquema original pasa por lo siguiente: un proceso manda al anterior una tarjeta con las unidades de producto que necesita, colocándose esta en un tablero, las demandas se van atendiendo en orden de llegada, en caso de que distintos puestos demanden la misma pieza se irán colocando tarjetas en la misma línea del tablero, si dentro del tablero se llega a la zona roja, habrá que mandar la orden al proceso anterior de producir lo que se está a punto de agotarse, teniendo en cuenta que además este sistema se lleva a cabo con inventarios reducidos, los cuales han sido determinados para cubrir las necesidades mínimas e indispensables de stock. Cabe señalar que el explicado es el proceso básico, y que se tienen múltiples variantes del mismo, tal y como recoge en su revisión Lage *et al.*[20].

3.4.5.-Grupos Kaizen de mejora continua

Tal y como refleja Kiran en su libro [21], Kaizen es una práctica enfocada a la mejora continua de procesos de fabricación, ingeniería, servicios o cualquier dirección de negocio. Su materialización se lleva a cabo con la creación de grupos de trabajo interdisciplinarios que se sean capaces de encontrar la causa raíz de un problema detectado. Para ello la creatividad del equipo es el eje sobre el que pivota esta filosofía, siendo el Brainstorming,

una práctica común en su puesta en práctica para buscar respuestas a los conocidos “Cinco Porqués” de Toyota que primero buscan la causa inmediata para encontrar una solución rápida que permita seguir con la producción, para después hallar la causa raíz, objetivo último.

Capítulo 4. Organización actual

4.1.DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Como se introdujo en el Apartado 2.2, un skeleton es la estructura de la góndola de un aerogenerador, encargada de albergar los equipos que lo componen. Concretamente, los fabricados por Asturfeito S.A. son los que formarán parte del modelo correspondiente con un aerogenerador tripala offshore de hasta 9,5 MW de potencia (en el momento en que se desarrolla este TFM).

Tal y como se muestra en la Figura 4.1, el skeleton está formado por un conjunto de vigas huecas obtenidas a partir de chapas de diferentes espesores de acero S355J2, perfiles IPE y tubos, también de diferentes dimensiones. La estructura completa tiene un peso aproximado de 23,5 toneladas, siendo sus dimensiones (también aproximadas) de: 12,3 x 3,9 x 5,1 m.

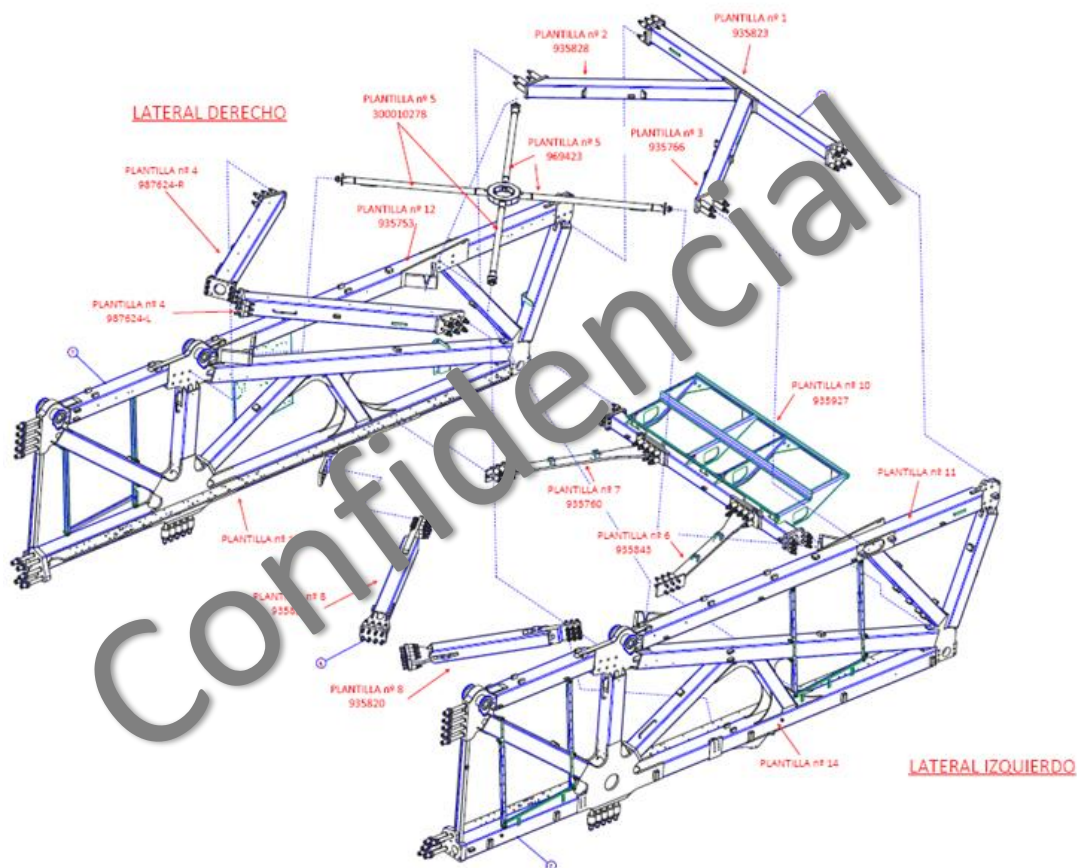


Figura 4.1. Despiece de Skeleton de Aerogenerador (Imagen proporcionada por Asturfeito S.A.)

El proceso de unión de los diferentes componentes es la soldadura, utilizándose fundamentalmente soldadura semiautomática de penetración tipo MAG.

Los componentes de un skeleton se pueden dividir, así mismo, en cuatro grandes grupos o familias, las cuales están formadas por aquellos elementos que comparten una misma (o similar) secuencia de fabricación. En primer lugar, se tienen las Beams y los Laterales, que son los principales. Los dos restantes se corresponderían con los Casquillos, piezas con las cuales se llevará a cabo el montaje efectivo de un skeleton, con ellos se incluyen también arandelas y alguna otra pieza de chapa; y los Soportes para los Armarios necesarios para colocar una serie de armarios en los que se situarán distintos paneles, yendo anclados a la estructura en el interior de la góndola.

Los dos grupos principales se dividen a su vez en dos subgrupos: Top y Bottom para las Beams, y Left y Right para los Laterales. Cada uno de estos últimos está compuesto por lo que en la empresa se conoce como *Fichas*, siendo estas un conjunto de piezas que constituyen una unidad indisoluble o bien forman una unidad en el montaje, es decir, comparten alguna relación en su fabricación o montaje. Se listan a continuación todas las fichas, reflejándose además entre paréntesis a qué grupos pertenecen, así como el número de plano. Cabe señalar que algunas Fichas son subensamblajes de otras mayores.

1. Ficha 1: Top Cross Beam, Rear Welded (BEAMS: TOP / Plano: 935823)
2. Ficha 2: Cross Beam, Rear Right Welded (BEAMS: TOP / Plano: 935828)
3. Ficha 3: Cross Beam; Rear Left Welded (BEAMS: TOP / Plano: 935766)
4. Ficha 4¹: Angled Cross Beam, Front Welded (BEAMS: TOP / Plano: 987624)
5. Ficha 5²: Beam Cross Welded (BEAMS: TOP / Planos: 969423 y 300010278)
6. Ficha 6: Angled Cross Beam LT, Rear Welded (BEAMS: BOTTOM / Plano: 935843)
7. Ficha 7: Angled Cross Beam RT, Rear Welded (BEAMS: BOTTOM / Plano: 935760)

¹ La Ficha 4 está compuesta por 2 vigas iguales, una izquierda y otra derecha, pero al usarse la misma plantilla de armado en su fabricación constituyen únicamente una Ficha.

² La Ficha 5 está compuesta por 4 tubos, 2 de los cuales se corresponden con un número de plano, mientras que los otros 2 se corresponden con el otro. La diferencia entre ambos es la longitud del tubo central base de cada elemento de la ficha.

8. Ficha 8³: Angled Cross Beam, Middle Welded (BEAMS: BOTTOM / Planos: 935820 y 935824)
9. Ficha 10: Bottom Cross Beam, Rear Welded (BEAMS: BOTTOM / Plano: 935927)
10. Ficha 11⁴: Beam Top Rear Left Welded (LATERALES: LEFT / Plano: 935827)
11. Ficha 12: Beam Top Rear Right Welded (LATERALES: RIGHT / Plano: 935753)
12. Ficha 13: Beam Lower Right Welded (LATERALES: RIGHT / Plano: 935822)
13. Ficha 14: Beam Lower Left Welded (LATERALES: LEFT / Plano: 935841)
14. Ficha 15⁵: Prearmados de calderería (Laterales: RIGHT y LEFT)
15. Ficha 17: Skeleton Right Welded (LATERALES: RIGHT / Planos: 935925 y 986136)
16. Ficha 18: Skeleton Left Welded (LATERALES: LEFT / Planos: 935926 y 985811)

A pesar de que el aerogenerador en su conjunto está recubierto de placas de fibra de carbono, y como consecuencia, el skeleton no estará en contacto directo con el medio, toda su superficie deberá ser galvanizada con un mínimo número de micras determinado por el cliente.

4.2.DESCRIPCIÓN DE RESPONSABLES

Esta obra tiene asignada un Jefe de Proyecto, el cual es el responsable último de la buena marcha de este. Entre sus funciones se encuentra, el cálculo de las necesidades de material, el control del avance de la producción, la resolución de problemas en el día a día y el control de costes. Sin embargo, la toma de decisiones relativas a cambios en lo habitualmente establecido incluye también al Director de Operaciones y al CEO de la compañía, siendo estos quienes deciden en última instancia. Además, se cuenta con especialistas en calidad y en soldadura, pues poseen un conocimiento técnico más amplio en sus áreas, que resulta útil en la resolución de problemas en esos temas. Por otro lado,

³ La Ficha 8 está compuesta por 2 vigas, a cada una de las cuales le corresponde un plano, sin embargo, pertenecen a la misma ficha porque comparten plantilla de armado.

⁴ Las Fichas 11 y 12 se corresponden con la parte superior de los laterales, es decir, formarán parte de las Fichas 17 y 18 respectivamente, junto con otros subensamblajes y componentes. Ocurre lo mismo con las Fichas 14 y 13, sólo que estas son la parte inferior de los laterales.

⁵ En esta Ficha se engloban todos aquellos subconjuntos pequeños que forman parte de los subensamblajes mayores de los laterales (Fichas 11, 12, 13 y 14)

se tiene al Jefe de Producción, encargado de la organización de todo lo que ocurre en fábrica.

4.3.PROBLEMÁTICA: ESTADO INICIAL DE LA PRODUCCIÓN

Se tratará de describir en este punto, la compleja situación de la producción al inicio del proyecto sobre el que versa este trabajo, para el cual se considera como fecha de inicio el 4 de febrero de 2019. Primeramente, habrá que realizar una breve introducción a las áreas que componen el proceso de fabricación, sin embargo, este será detallado en profundidad en el Apartado 5.2 donde se refleja el proceso productivo mediante diagramas IDEF 0.

En líneas generales el proceso está compuesto por cinco áreas de producción. En primer lugar, se encuentra el Soldado, que engloba todas las operaciones de armado y soldado de Beams y Laterales. Por otro lado, se tiene el Mecanizado, que en Beams se realiza antes del galvanizado y en Laterales después. A continuación, se tendría el Galvanizado, que es subcontratado a GA⁶. Después se encuentra el Metalizado, nuevo tratamiento superficial que se ha de aplicar en lo conocido como “zonas de fricción”, a saber, aquellas en las que en el montaje de Beams y Laterales estos entran en contacto para ser fijados con pernos. Este proceso es subcontratado a la empresa especialista SEM, pero desarrollándose en instalaciones de Asturfeito. Finalmente se tiene Ajuste, encargada de montar, desmontar, reparar, embalar y cargar en camión los distintos componentes.

Tal y como se introdujo en el Capítulo 2, con el objetivo de implementar una línea de fabricación seriada para optimizar la fabricación de los skeletons, se adquirieron en 2017 dos naves en el polígono de Silvota. Sin embargo, la producción en estos no comenzaba como tal hasta mediados de febrero de 2019, cuando se trasladó íntegramente el proceso de Soldado. Es decir, al inicio del proyecto se estaba en una época de transición y mudanza, lo que incrementa notablemente la complejidad en la comprensión del mismo, más teniendo en cuenta la falta de información escrita y actualizada acerca del proceso.

⁶ Los nombres de las subcontratas son sustituidas por sus iniciales para preservar su identidad.

A partir de este momento la producción se divide entre los 3 centros de trabajo de la compañía: en Tabaza se realiza el mecanizado de Beams, en Silvota todo lo relacionado con soldadura, y en el PEPA el resto de operaciones, exceptuando las subcontratadas arriba mencionadas.

Además, en el periodo comprendido por los meses de febrero y marzo se daba una circunstancia especial, y es que el cliente pidió que en lugar de 2 skeletons a la semana se entregaran 3, es decir, se tuvo un aumento inesperado de la producción que obligó a adelantar la planificación de la fabricación, así como a incrementar los medios disponibles.

Por otro lado, la mudanza del resto de los procesos desarrollados en el PEPA iba a producirse el 1 de abril, cuando en teoría la fresadora vertical Scharmann, dedicada al mecanizado de laterales, iba a estar plenamente operativa en las nuevas instalaciones. Sin embargo, al no cumplirse estos plazos todo se atrasó y finalmente la marcha de las instalaciones del PEPA de Ajuste tuvo lugar el 16 de Mayo, mientras que el Mecanizado de Laterales y el Metalizado de estos, a fecha de 4 de Junio, no han sido trasladados aún.

Cabe señalar que antes de iniciarse este proceso de implementación de técnicas de Lean Manufacturing ya se habían tomado medidas para disminuir tiempos de fabricación como son la creación de plantillas de armado para cada Ficha, lo que hace disminuir el tiempo de armado de estas notablemente. También, con el objetivo de facilitar el proceso de metalizado se crearon unas plantillas de chapa para cada Ficha, que delimitan las zonas a metalizar.

Otro punto a destacar es que, si bien el mecanizado de Beams está pensado para realizarse en las instalaciones de Asturfeito en Tabaza, en la práctica, y debido a la cantidad de obras con las que se comparten y seguirán compartiéndose las máquinas disponibles, el mecanizado de cuatro de las Beams es subcontratado. A todo esto, ha de sumarse que se tiene una serie de piezas que antes de su montaje en soldadura ya han sido mecanizadas también en las instalaciones de Tabaza, o en caso de no tener disponibilidad, en una subcontrata.

Capítulo 5. Análisis del proceso

5.1.INTRODUCCIÓN

Como se adelantaba en el punto anterior, esta es una tarea compleja debido a la falta de información escrita acerca del proceso. La documentación disponible en el inicio de este proyecto es:

- Planos de todos los componentes a fabricar.
- Especificaciones Técnicas de Compra, TPS por sus siglas en inglés (Technical Purchase Specification). Se trata de documentos genéricos donde el cliente refleja todas aquellas condiciones que han de cumplirse necesariamente. Pueden estar referidas a materiales, calidad, procesos, recubrimientos... En todas ellas, aparecen listadas las normas que aplican al proceso. Además, se disponen de documentos de calidad y algún procedimiento de fabricación. En el Anexo I se proporciona un listado y una breve descripción de los documentos aportados por el cliente.
- Lista de materiales.
- Libro de soldadura, WB (Welding Book) por sus siglas en inglés. En él se encuentran incluidos tanto los planos de soldadura, como las WPS (Welding Procedure Specification) o Especificaciones del Procedimiento de Soldadura; los PQR (Procedure Qualification Records) o Registros de Cualificación de Procedimientos; y los WPQR (Welder Performance Qualification Record) o Registro de Cualificación de Rendimiento del Soldador.
- Procedimientos de reparación de soldadura.
- Una serie de e-mails con el cliente donde se explican los acuerdos alcanzados en lo relativo a envíos.
- Un acta de una reunión relativa a Lean Manufacturing.
- Un plano que refleja el Layout inicial planteado en Silvota.

Como se aprecia, no se tenían documentos que reflejaran claramente el proceso de fabricación de skeletons. Al tratarse de una línea de fabricación seriada disponer de esta herramienta es fundamental, y por ello se decidió que este debía ser el primer punto a

abordar: la determinación de un diagrama de flujo del proceso. En este punto fue sugerida la utilización de diagramas IDEF 0, pues no solo permiten ver el diagrama de flujo, si no que también ofrecen una visión de los recursos necesarios para llevar a cabo el proceso y las reglas a cumplir en cada punto del mismo.

Se toma como punto de partida una adaptación de la propuesta realizada por Martínez Pellitero *et al.* [22] cuyo primer paso consiste en la realización de un “Macro-plan” el cual, recoja un esquema general de actividades principales del proceso, para a continuación, internarse en cada una de ellas llegando incluso a nivel de operación, desarrollando diferentes “Micro-planes”.

Todos los diagramas reflejan la situación que se tiene con la producción totalmente instalada en Silvota.

5.2.DESARROLLO DEL DIAGRAMA DE FLUJO

Un análisis exhaustivo partiendo de la observación en fábrica de los diferentes procesos y de la entrevista a los diferentes agentes implicados en el mismo permitió la distinción de seis grandes actividades, tal y como se muestra en la Figura 5.1.

La primera se corresponde con la comunicación a proveedores, y muchas pequeñas operaciones a realizar en determinados componentes. Se ha optado por separar los procesos de soldado de Beams y Laterales debido a que el orden de las operaciones es notablemente diferente, sobre todo, en lo relativo a Galvanizado y Mecanizado. Se tiene a continuación el Galvanizado. Después se distinguen las actividades de Ajuste y Envío, que al ser realizadas por el mismo departamento se engloba en una única actividad. Por último, la Gestión de Stock, pese a ser muy contraria a la filosofía *lean*, se ha decidido añadir, debido a su rol fundamental en este proceso.

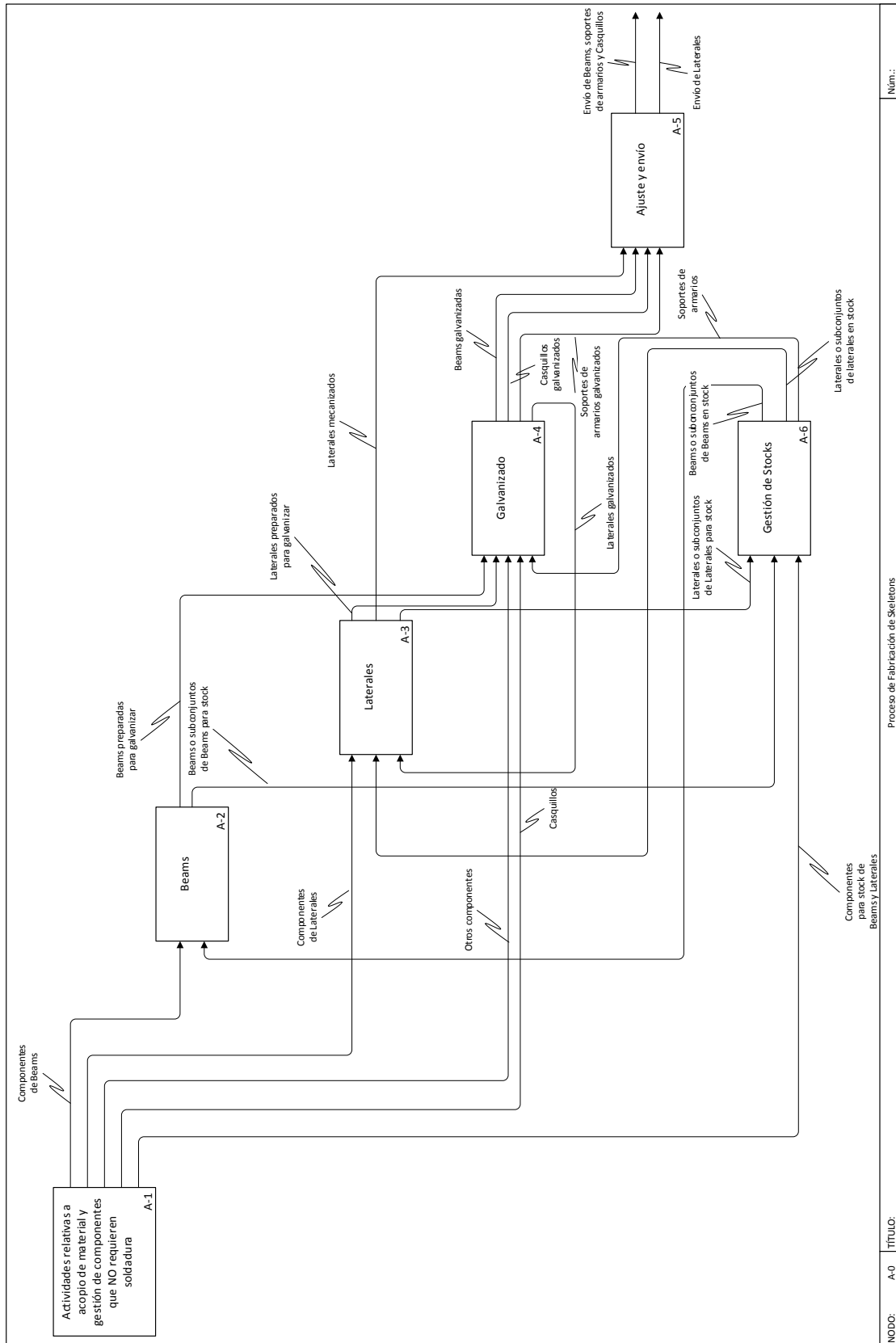


Figura 5.1 Diagrama global de proceso de Fabricación de Skeletons. (Elaboración propia)

En cada uno de los siguientes subapartados se desarrollarán íntegramente los distintos procesos correspondientes a cada actividad⁷.

Se incluyen además las reglas y recursos de cada una de ellas. Debido nuevamente a motivos de espacio y organización, se ha preferido listar en la mayoría de las ocasiones todas las reglas y recursos que aplican, en lugar de usar una flecha para cada regla/recurso que va a cada actividad.

Se distinguen fundamentalmente dos tipos de reglas:

- Aquellas que proceden del cliente. Ya sean especificaciones técnicas, procedimientos, requisitos de calidad...
- Aquellas de creación propia (como el libro de soldadura, restricciones en cuanto a momento de ejecución...)

Por su parte, los recursos pueden ser clasificados en siete grandes grupos:

- Instalaciones donde se desarrollan las distintas operaciones.
- Máquinas herramienta destinadas a la fabricación
- Utillaje necesario para llevar a cabo las operaciones dentro de una subactividad
- Personal destinado a la ejecución de cada tarea
- Sistemas de transporte en planta
- Hardware. Incluyendo ordenadores, ERP, Excel se seguimiento...
- Equipos de Protección individual

Al haberse realizado en periodo de transición, el listado de recursos es incompleto y por tanto, sufrirá modificaciones, pues se pretende ampliar el mismo, así como la determinación de su número de manera concreta, sin embargo, hasta que el proceso no se

⁷ Por motivos de espacio en página, la versión que aparece en esta Memoria no incluye todos los componentes de cada elemento con sus marcas de acopio (código que permite distinguir una pieza de otra), sino que se trata de una versión simplificada de los diagramas, que se encuentran completos para su utilización por parte de la empresa en el Anexo III.

encuentre perfectamente implantado en las nuevas instalaciones esta tarea no podrá ser realizada detalladamente.

Además, a pesar de estar presentes no se incluyen en estos diagramas los EPI's, pues para todo el personal de planta, el calzado de seguridad, el casco, las gafas, y la protección auditiva es obligatoria. Por su parte, soldadores y caldereros disponen de equipos especiales de protección visual, así como de cuerpo y manos. Lo mismo ocurre con el hardware, únicamente disponible para el Jefe de Proyecto y de Producción, que no son incluidos como recursos pues se entiende que están controlando constantemente el avance de la producción.

Simultáneamente al desarrollo de estos diagramas, se ha creado un código de colores para las actividades, atendiendo a criterios como si aportan o no, valor, o si son subcontratadas. Además, también se han designado reglas y recursos con acrónimos. La leyenda para entender el diagrama se encuentra al inicio del Anexo III.

5.2.1.-Actividad 1: Actividades relativas a acopios de material y gestión de componentes que NO requieren de soldadura.

En primer lugar, se señala que esta actividad pretende reflejar fundamentalmente los complejos procesos de gestión de material que tienen lugar antes de que este llegue al centro de producción, incluyendo además a los distintos proveedores. Por tanto, a pesar de que se mantiene numeración y estilo, este diagrama no sigue estrictamente las normas jerárquicas de los diagramas IDEF 0 ya que, si se intentan agrupar las subactividades en conjuntos, se pierde la visión global que en esta fase debido a la variabilidad de orígenes y destinos es imprescindible.

Tal y como se aprecia en la Figura 5.2 el proceso se inicia con los proveedores encargados de suministrar toda la materia prima. En esta obra, Asturfeito S.A. cuenta con 4 proveedores. El primero y más importante es OX, siendo quien proporciona casi toda la chapa y tubo necesario ya cortado. En el caso de las "piezas base" (entendiendo como tales aquellas que componen la estructura principal de cada ficha) estas ya están cortadas, plegadas y soldadas, lo mismo ocurre con las vigas auxiliares que formarán parte de la estructura de los laterales y que no constituyen una ficha en sí misma. Debido a las

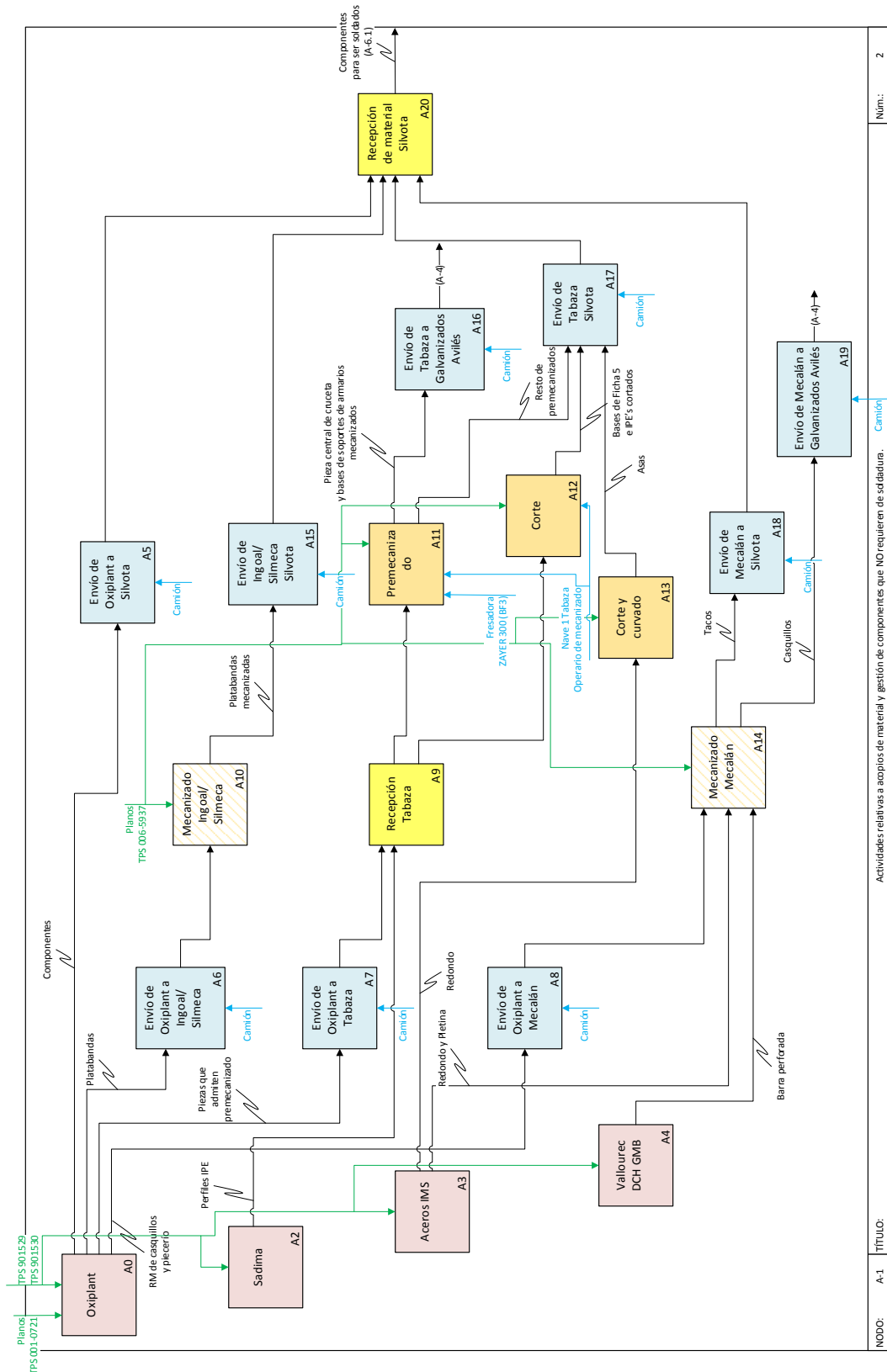


Figura 5.2. Diagrama IDEFO: Actividad 1. Actividades relativas a acopios de material y gestión de componentes que NO requieren soldadura. (Elaboración propia).

operaciones de las que se encarga, este proveedor es el único que recibe planos del producto. Es conocido que OX fabrica en grandes series, pero luego se compromete a almacenar el stock e ir suministrándolo en pequeños lotes en función de las necesidades de la producción. No obstante, a pesar de ser uno de los suministradores más habituales de la empresa, se tiene la contrapartida de que el transporte corre a cargo de Asturfeito S.A. por ello es el único que cuenta con un bloque de envío desde sí mismo hasta los diferentes destinos. SD, por su parte, se encarga de suministrar los perfiles IPE que forman parte de los laterales. Por otro lado, AIMS suministra las pletinas de las que se obtendrán los tacos⁸, así como los pequeños redondos a partir de los que se fabricarán las asas que lleva el skeleton. Finalmente, VDC es quien suministra el tubo perforado a partir del cual, tras cortar y mecanizar, se obtendrán los casquillos que acompañan al envío de los skeletons. Estos tres proveedores asumen en su alcance el envío de los materiales al destino que les corresponde.

Entre los posibles destinos del material suministrado se tienen las instalaciones de Silvota, destino último de la mayor parte del material, pero al cual solo llegan directamente de proveedor aquellos componentes de OX que no requieren de operaciones intermedias (siendo estos la mayoría).

Como operaciones intermedias se tienen los cortes de tubos o pletinas de los que se sacan piezas, y el mecanizado de muchas de estas, que en esta fase se llamará premecanizado. Realizarlo en este punto hace que el proceso sea más sencillo, pues en el mecanizado posterior con las fichas montadas sería más compleja la ejecución del mismo. Además, este no afecta a las tolerancias geométricas estrictas que se han de cumplir.

Otro de los destinos es la empresa de mecanizado ING/SLM, donde son enviadas las platabandas, unas piezas que se situarán en el fondo de las Fichas 13 y 14. Se mencionan 2 empresas porque van a una o a otra en función de disponibilidad y conveniencia. Una vez

⁸ Piezas cuyo posicionamiento es crítico, pues de su buena colocación dependerá que los elementos que haya que montar en el aerogenerador encajen. La tolerancia es de ± 4 mm, que en una pieza de calderería de grandes dimensiones, con las grandes deformaciones que en ella se producen, es muy difícil de cumplir.

mecanizadas, un lote de tamaño determinado en función de las necesidades que fábrica haya ordenado al proveedor es enviado a Silvota.

La mayor parte de los premecanizados es llevada a cabo en las instalaciones de la propia empresa en Tabaza, por lo que el material será recepcionado por el almacenero correspondiente, no se incluye aquí actividad de gestión de stock, debido a que este almacenero no imputa coste al proyecto directamente, si no que, como da soporte a diferentes obras la empresa tiene una partida a tal efecto. Lo mismo ocurre con el espacio.

En Tabaza se cortan los perfiles IPE anteriormente mencionados y los tubos perforados que compondrán la cruceta (Ficha 5). Además, son mecanizadas múltiples piezas que formarán parte de la fabricación de los componentes soldados y que serán enviados a Silvota. Por otro lado, la pieza que unirá las cuatro barras que forman la cruceta, en adelante roseta, es enviada junto con las bases de los soportes para armarios directamente a la parte del proceso que les compete a continuación que sería el galvanizado en caliente en GA, por ello estas piezas son almacenadas durante bastante tiempo, hasta que se da la orden de que se necesitan. Esto último permite ahorrar costes en transporte.

El total de las asas necesarias para los 100 skeletons, es decir, 500 unidades, fueron fabricadas íntegramente al inicio de la obra en las instalaciones de Tabaza, estando actualmente almacenadas en Silvota.

De forma similar, las plaquitas identificativas que llevan las Fichas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 17 y 18, fueron fabricadas por OX al inicio de la obra, y enviadas a Silvota en un único lote, estando dispuestas en una mesa de las instalaciones, agrupadas por número de skeleton (14 para cada uno).

Finalmente, el último posible destino es MEC, una subcontrata en la que se cortarán y mecanizarán los casquillos, que luego serán enviados directamente a galvanizar, así como los mencionados tacos que formarán parte de Beams y Laterales, que serán enviados a Silvota.

En este punto final de la actividad, donde todo el material se encuentra en Silvota, un almacenero receptiona el material, yendo a parar en ese momento a la actividad de Gestión de stock de la que se explicará el porqué de su presencia en el apartado Actividad 6: Gestión de stock.

5.2.2.-Actividad 2: Beams

Se incluye en esta actividad, todas aquellas operaciones que implican la obtención de los componentes conocidos como Beams. El diagrama completo de esta actividad se muestra en la Figura 5.3.

El proceso de fabricación de todas las Beams comienza de forma similar. Los componentes que las forman se montan sobre unas plantillas de armado. Cada ficha dispone de su propia plantilla. Estas fueron fabricadas con el objetivo de reducir los tiempos de armado. El armado de las distintas fichas lo lleva a cabo los caldereros, que son también los responsables de garantizar la trazabilidad de las piezas, parte de su trabajo es por tanto, apuntar en un registro los números de serie de los componentes que van montando en cada una de las Fichas. Se tienen varios caldereros y soldadores asignados a diferentes fichas, estas asignaciones, así como la organización de turnos se explican detalladamente en el Apartado 6.2:Distribución del personal.

Sin embargo, en los diagramas se incluye como norma que el tiempo disponible de cada calderero (ocurrirá lo mismo con los soldadores) es la suma del invertido en la fabricación de aquellas fichas que tiene que armar. Esto será un aspecto clave para la determinación posterior de si se está cumpliendo con el takt time de cada fase, y si la distribución actual es la óptima, así como del camino crítico. Los caldereros arman a una velocidad mayor que a la que sueldan los soldadores, en consecuencia, a pesar de que en el flujo ideal no sería así, la mayor parte de las fichas pasan directamente a *“Gestión de stock dentro de planta”*. El movimiento de la pieza armada, hasta la zona de almacenaje en planta destinada a este fin pertenece al propio armado. La actividad *“Armado de Beams”* está compuesta por 9 bloques correspondientes cada uno al armado de cada ficha. Lo mismo ocurre con *“Soldado de Beams”*, en esta actividad, también se tienen movimientos de colocación de pieza en puesto de soldado, y posicionamiento en lugar de almacenaje una vez soldado.

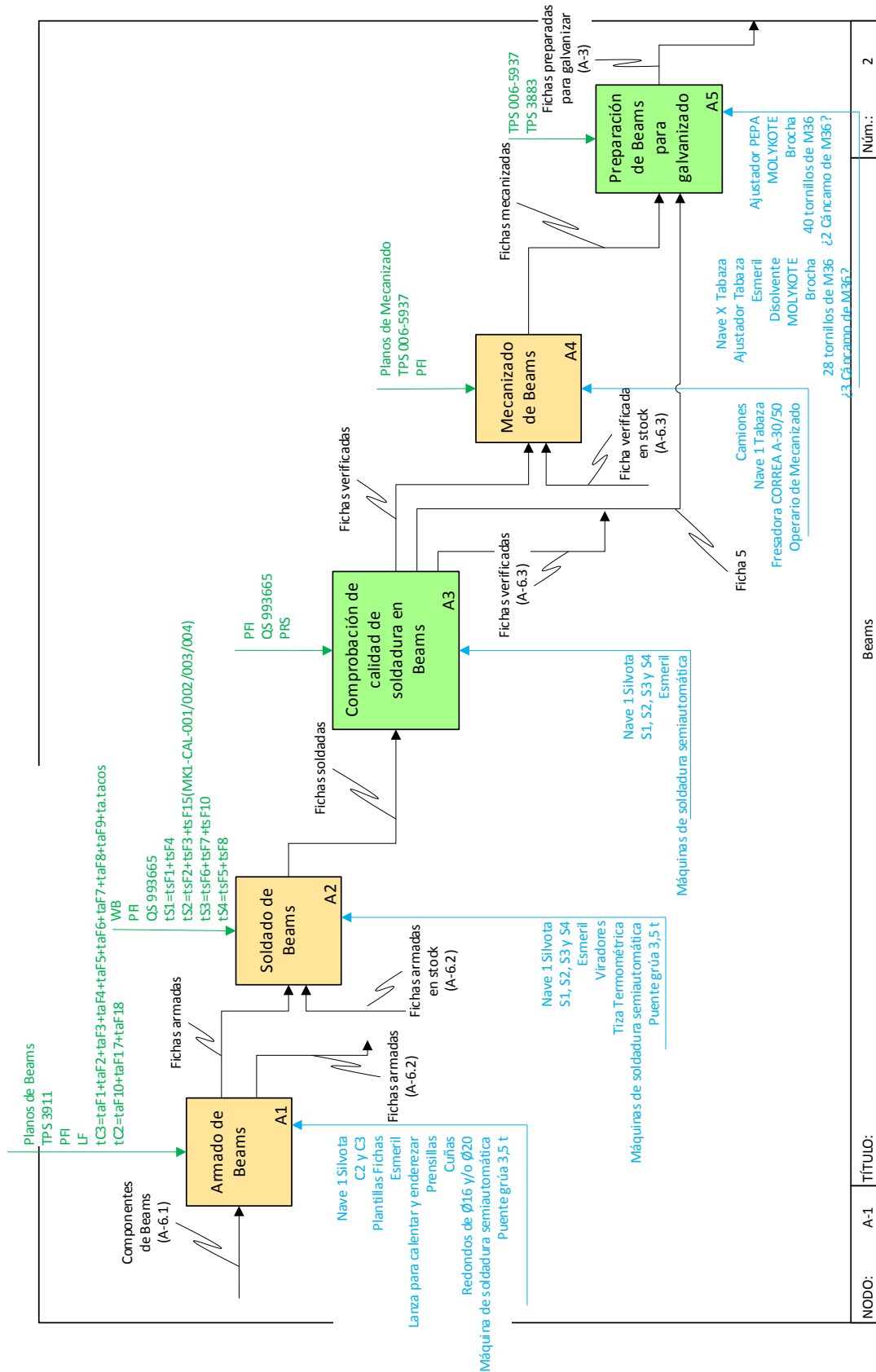


Figura 5.3. Diagrama IDEF0: Actividad 2. Beams. (Elaboración propia)

A continuación, se sueldan las distintas fichas de acuerdo con los planos y especificaciones pertinentes. Cabe señalar que tras el soldado, los distintos componentes no pasan a gestión de stock debido a que un operario de la empresa Applus, encargada de la realización de los ensayos no destructivos (END's) para garantizar la imparcialidad de los resultados, permanece siempre en planta realizando los ensayos, siendo este el siguiente paso de la producción. No obstante, es evidente que hay piezas que irán siendo terminadas y que tendrán que esperar a que el operario acabe los ensayos anteriores, sin embargo, estas esperas son imposibles de determinar a día de hoy, a veces se producen y a veces no, por lo que hasta que no se consiga nivelar la producción no se podrá realizar un estudio a este respecto. La actividad "Comprobación de Calidad de Soldadura en Beams" asigna un bloque para cada Ficha, que internamente se divide de acuerdo con lo mostrado en la Figura 5.4, y que será válido para todos los procesos de realización de END's.

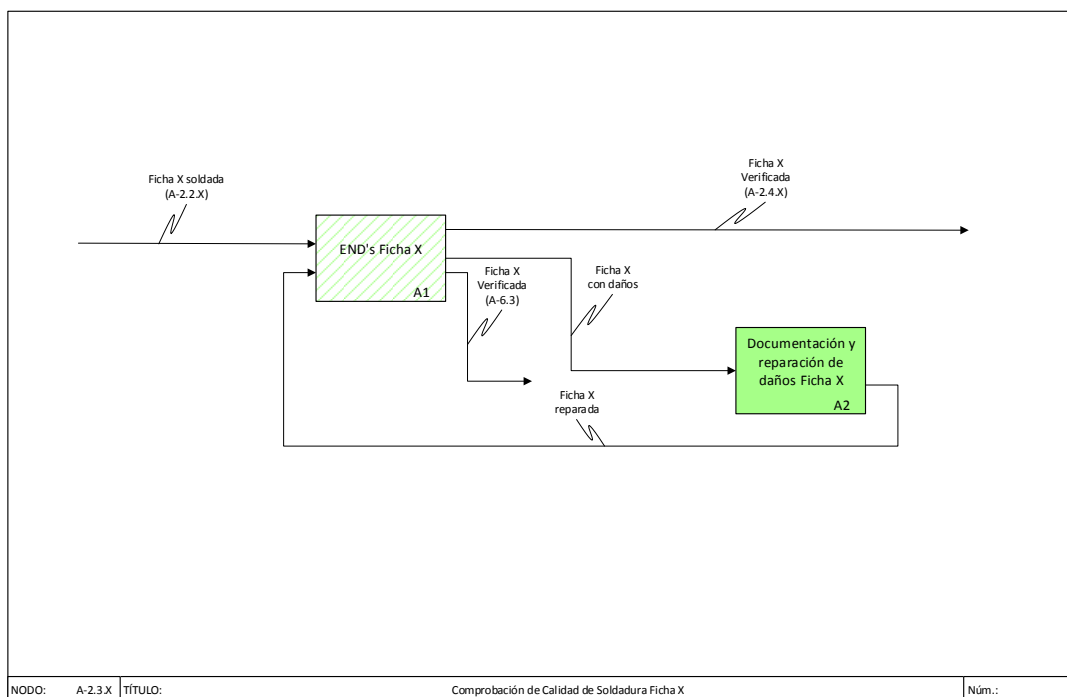


Figura 5.4. Diagrama IDEF0. Actividad 2.3.X: Comprobación de calidad de Soldadura X.
(Elaboración propia)

Los END's que se realizan de acuerdo con los requisitos de calidad establecidos por el cliente en el documento "*QUALITY SPECIFICATION (QS). Welded Components for Vestas Wind Turbines. Comprehensive Quality Requirements*", establecen que se tiene que inspeccionar:

- Visualmente el 100% de las soldaduras
- Partículas magnéticas en el 20% de las soldaduras
- Ultrasonidos en el 20% de cada pieza.

Todos los defectos deberán de ser registrados y reparados. En caso de tener que repararse:

- Más del 5% de lo inspeccionado, la inspección se tendrá que extender al 20% del lote.
- Más del 20% de lo inspeccionado; la inspección se tendrá que extender al 50% del lote.
- Más del 50% de lo inspeccionado; la inspección se tendrá que extender al 100% del lote.

Las reparaciones serán llevadas a cabo por soldadores a cargo de la ficha correspondiente. Como se trata de incidencias puntuales, se estimará un tiempo, pero tampoco será posible determinarlo verazmente.

Una vez realizados los ensayos, las Fichas se dirigen a "*Gestión de Stock para envío*".

Seguidamente, a excepción de la Ficha 5, el resto de Beams pasan al proceso de Mecanizado. Actualmente, por motivos de coste y saturación de instalaciones propias, el mecanizado de las Fichas 1, 10, 6 y 7 es subcontratado a dos empresas. Tal y como se observa en la Figura 5.5 el envío se incluye dentro de la actividad. Cada 2 semanas se envía a ING un camión con las Fichas 1 y 10 que serán necesarias las siguientes semanas. Por otro lado, cada 4 semanas se envía a MEC, un camión con Fichas 6 y 7. También cada 2 semanas, se envía a Tabaza un camión con las Fichas que deberán de ser mecanizadas. Cada bloque de "*Mecanizado...*" se divide en uno particular para cada ficha.

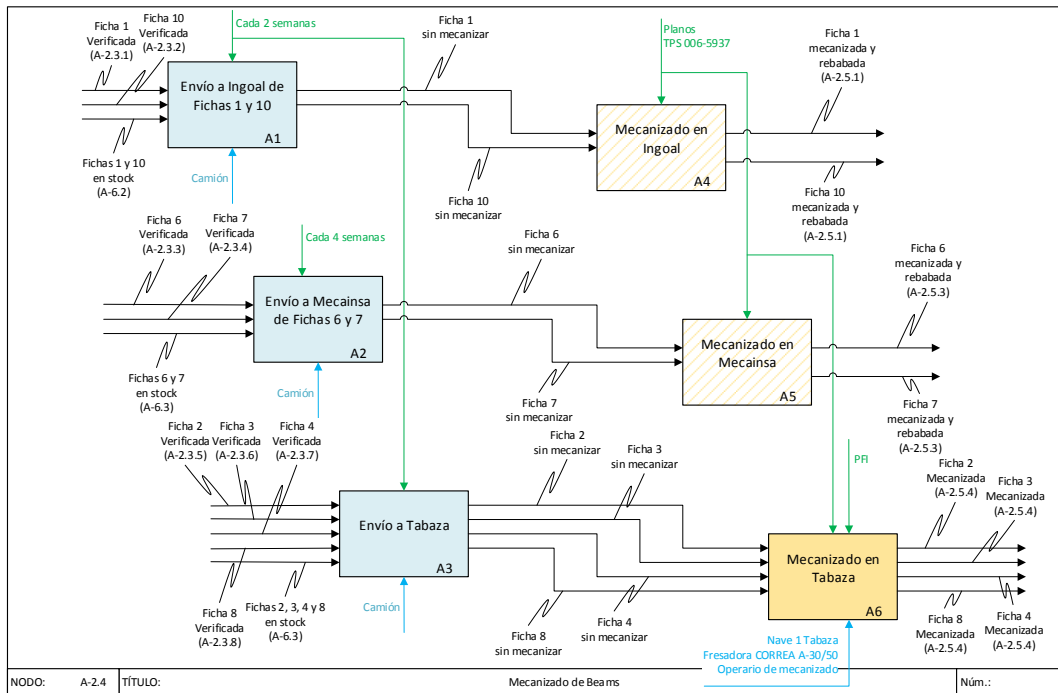


Figura 5.5. Diagrama IDEFO. Actividad 2.4: Mecanizado de Beams (Elaboración propia)

La quinta y última subactividad, se corresponde con la “Preparación de Beams para Galvanizado”. Tras ser mecanizadas, las aristas vivas de las Beams deberán de ser rebabadas y redondeadas. Para aquellas que se encuentran subcontratadas, esta operación entra dentro del alcance del mecanizado. Sin embargo, en aquellas de mecanizado propio tiene que ser realizada por un operario de Ajuste, en este caso de Tabaza.

De acuerdo con las especificaciones que el cliente refleja en la TPS 3883, las roscas no pueden ir galvanizadas, y por tanto, deberán de ser protegidas con tornillos y cáncamos para que puedan ser sumergidas. En el caso de las Beams de mecanizado propio esta protección es ejecutada por Ajuste Tabaza. Por el contrario, en las Beams subcontratadas se asume que estas serán enviadas a GA, y un operario del PEPA se desplazará a las instalaciones para proteger las roscas correspondientes. Para que quede más claro, se presenta en la Figura 5.6 esta subactividad desarrollada.

Cabe recordar que la Ficha 5, al no requerir de mecanizado procede directamente de Silvota.

Por otro lado, señalar que las Fichas 6, 7 y 8 no requieren de protección puesto que no cuentan con roscas.

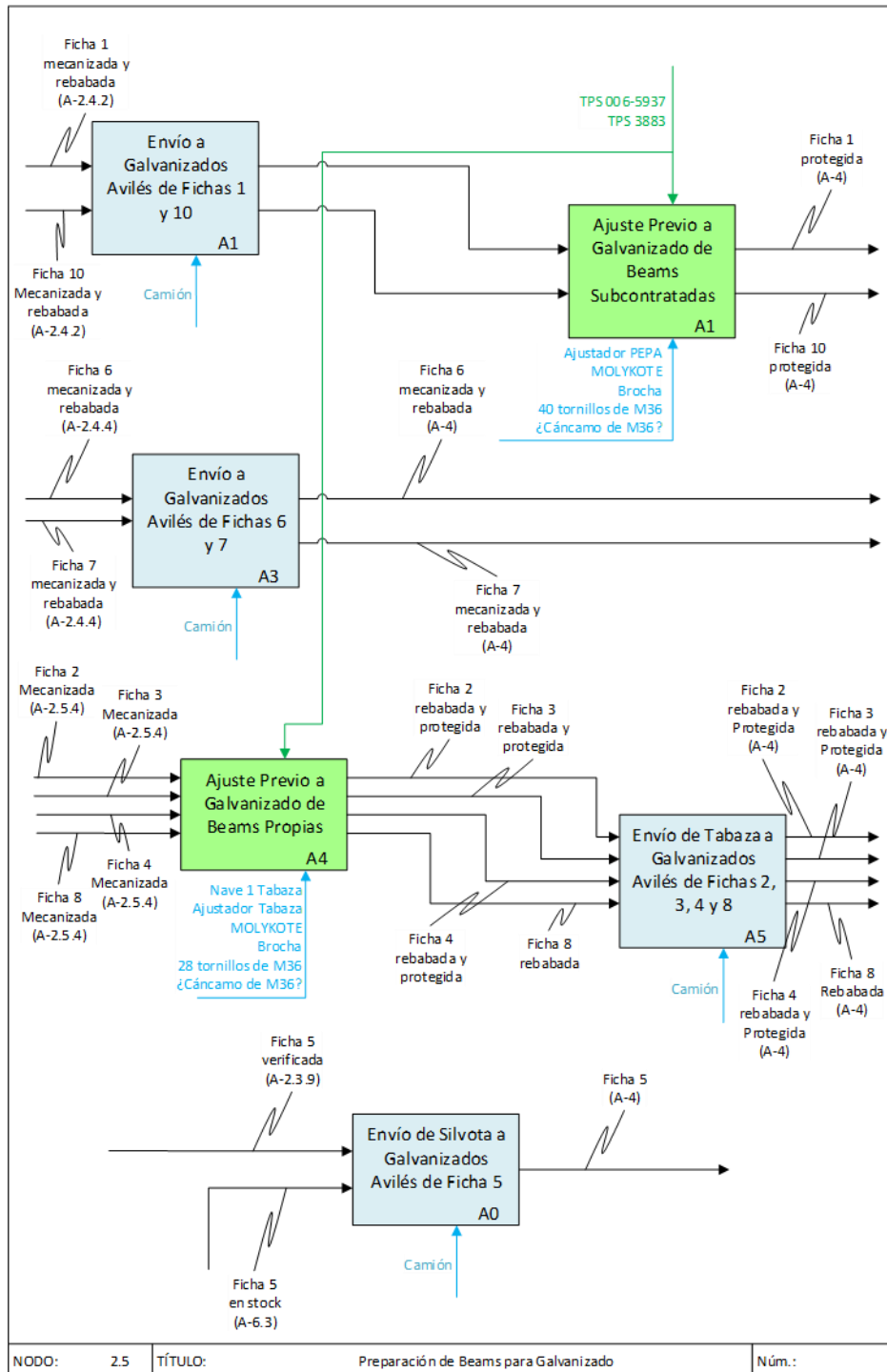


Figura 5.6. Diagrama IDEF 0. Actividad 2.5: Preparación de Beams para galvanizado. (Elaboración propia)

5.2.3.-Actividad 3: Laterales

El proceso, aunque similar al de fabricación de Beams, es más complejo debido a que las fases repetitivas de armado, soldado y END's tienen lugar en mayor número.

Se ha dividido en 3 grandes subactividades, tal y como se muestra en la Figura 5.7.

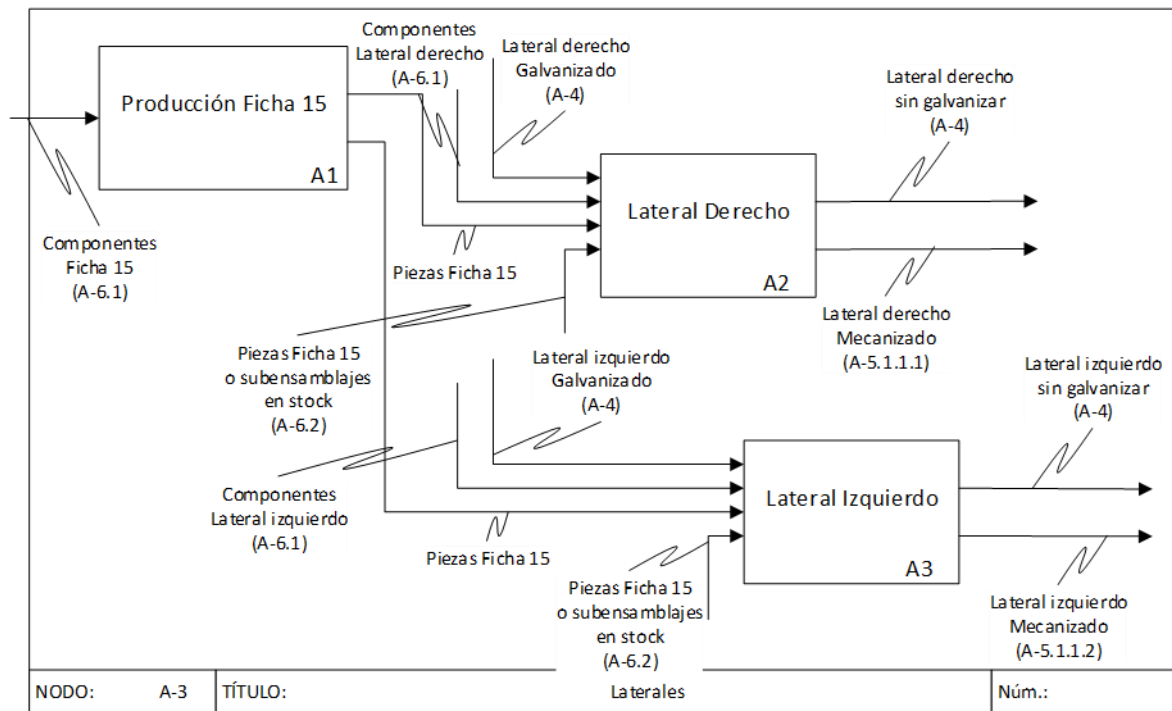


Figura 5.7. Diagrama de flujo. Actividad 3: Laterales. (Elaboración propia)

La producción de la Ficha 15, implica todos los procesos de armado, soldado y realización de END's de una serie de pequeños subensamblajes que formarán parte de las Fichas 11, 12, 13 y 14 de los distintos laterales (Figura 5.8). Se tienen un total de 10 ítems dentro de la Ficha 15, sin embargo, la actividad de fabricación de MK1-CAL-009 y MK1-CAL-010 se duplicará debido a que una pieza de cada, va a cada uno de los laterales, el resto, bien son de uno o de otro.

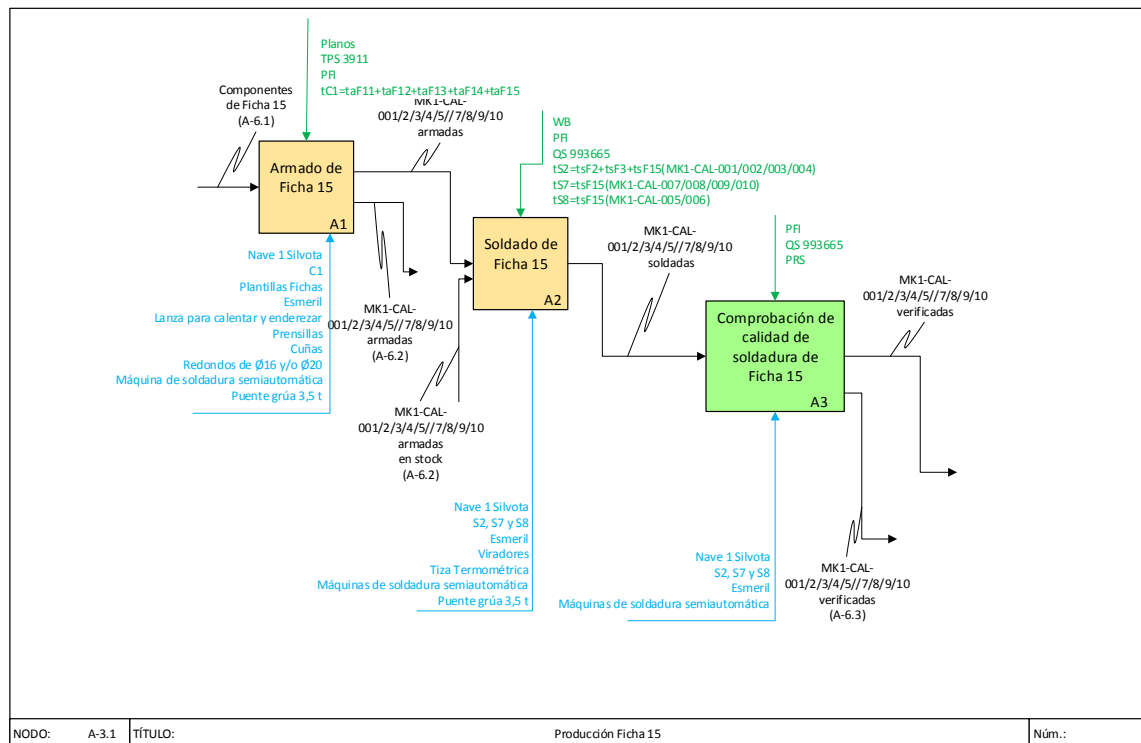


Figura 5.8. Diagrama IDEF 0. Actividad 3.1. Producción Ficha 15. (Elaboración propia)

Seguidamente, se tienen dos procesos paralelos de fabricación de laterales: derecho e izquierdo. Se explicará el proceso de fabricación del Lateral derecho puesto que en tanto a operaciones son idénticos. Sin embargo, se decide crear dos actividades porque, en primer lugar, se realizan a destiempo con una ligera cadencia; y en segundo lugar, porque aunque son similares, no son totalmente iguales ya que están compuestos por diferentes piezas.

Las Fichas 12, y 13 (equivalentes a la 11 y la 12 en el Lateral Izquierdo) son las más grandes y complejas de todas aquellas que componen el Lateral Derecho. Por ello, disponen de plantillas de armado propias. Una vez armadas (Figura 5.9), estas se mueven al lugar específico en planta previsto para su almacenamiento encontrándose este en el entorno de su zona de soldado, por lo que el armado, incluye el movimiento de la pieza hasta este lugar. Por otro lado, el soldado implica la realización del mismo, así como la colocación de la pieza en los viradores. Tras la realización de los END's y, en caso de ser necesarias reparaciones, se moverá la Ficha a otra zona de la fábrica dispuesta para su

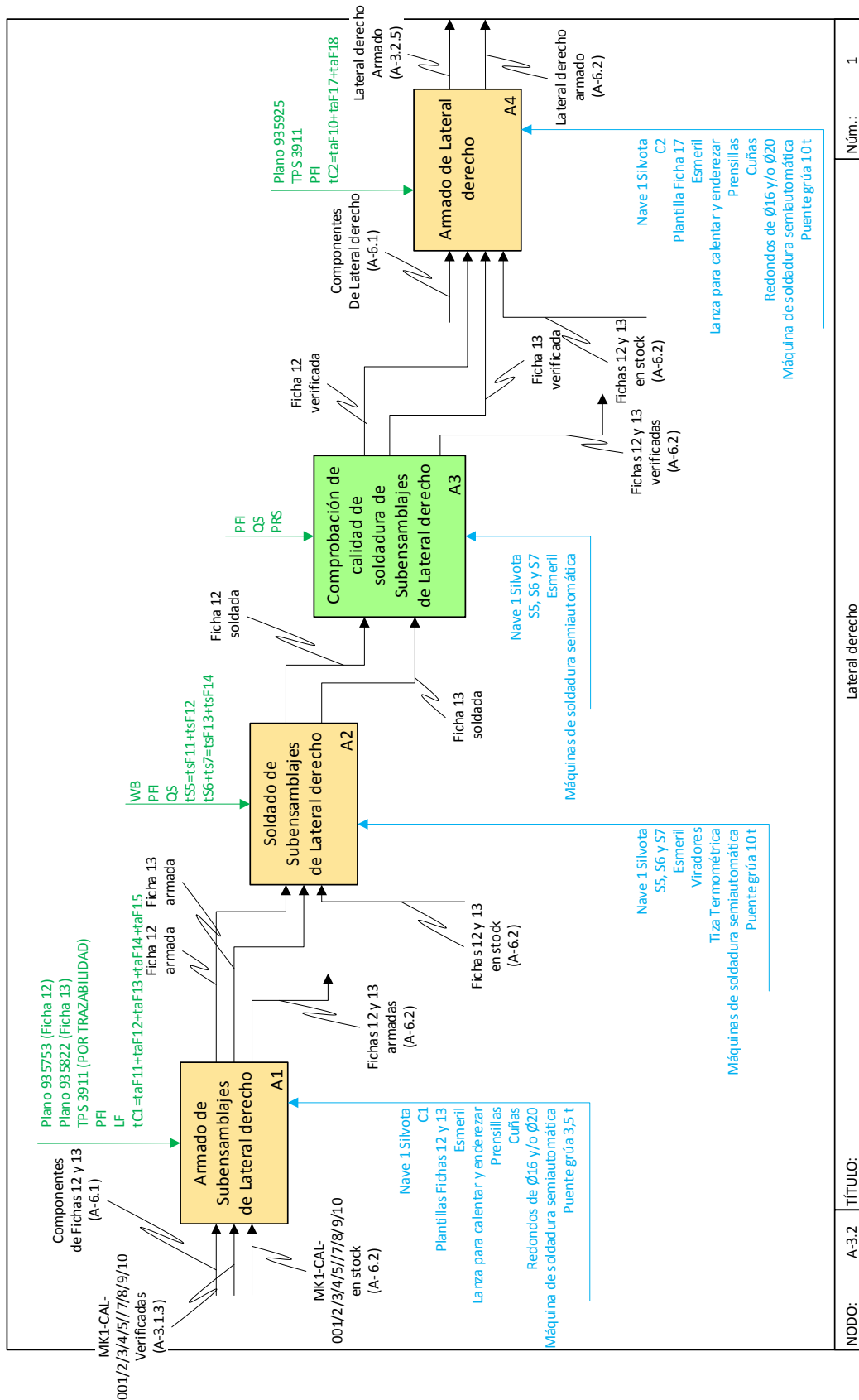


Figura 5.9. Diagrama IDEF0. Actividad 3.2 (Parte 1): Lateral derecho. (Elaboración propia)

espera. Se ve claramente en este punto la falta de nivelado de la producción actual. A continuación, se lleva a cabo el armado del lateral.

Una vez armada, (Figura 5.10) se mueve el conjunto a uno de los puestos disponibles para soldado (se tienen 2 por lateral), donde una pareja de soldadores ejecutará la soldadura. Esta se lleva a cabo primero en una cara, para a continuación, girar la pieza 180° ayudados de un puente grúa y realizar las de la otra cara. Nuevamente, Applus comprobará en este punto la presencia, o no, de defectos en la soldadura, y se repararán estos en caso de existir.

Cuando la zona de soldado de tacos se encuentre libre, el calderero a cargo ayudado por un soldador moverá la estructura del lateral hasta un carro, para a continuación, ser trasladado a la Nave 2. Tras pasar el portón la estructura volverá a izarse y se dispondrá en los caballetes pertinentes. Finalmente, la plantilla de tacos se situará encima del lateral y se procederá al punteado de tacos propiamente dicho. Una vez punteados se retira la plantilla, y el soldador realiza el soldado de los tacos.

Con el objetivo de evitar el conocido como “efecto bananas”, deformación por la cual durante el galvanizado se produce una liberación de tensiones en el material que unida a la esbeltez de la estructura hace que esta se curve, y a sabiendas de que se producirá, se aplica una contraflecha (Figura 5.11) al lateral de tal forma que tras el galvanizado este adquiera las dimensiones especificadas en los planos. Tras esto, se llevan a cabo los END's a los tacos. En ese momento el lateral estaría terminado. Antes de ser enviado, el operario de almacén se encarga de limpiar externa e internamente el lateral con el objetivo de que ningún tipo de viruta o polvo, quede depositado en el mismo durante el galvanizado, ya que el coste de las reparaciones posterior es muy elevado. Se envía entonces el lateral a galvanizar en un camión con un bastidor que permita su transporte seguro.

Una vez galvanizado el skeleton retorna a las instalaciones de Silvota donde en la Nave 2 se encuentra la fresadora en la que se llevará a cabo su mecanizado.

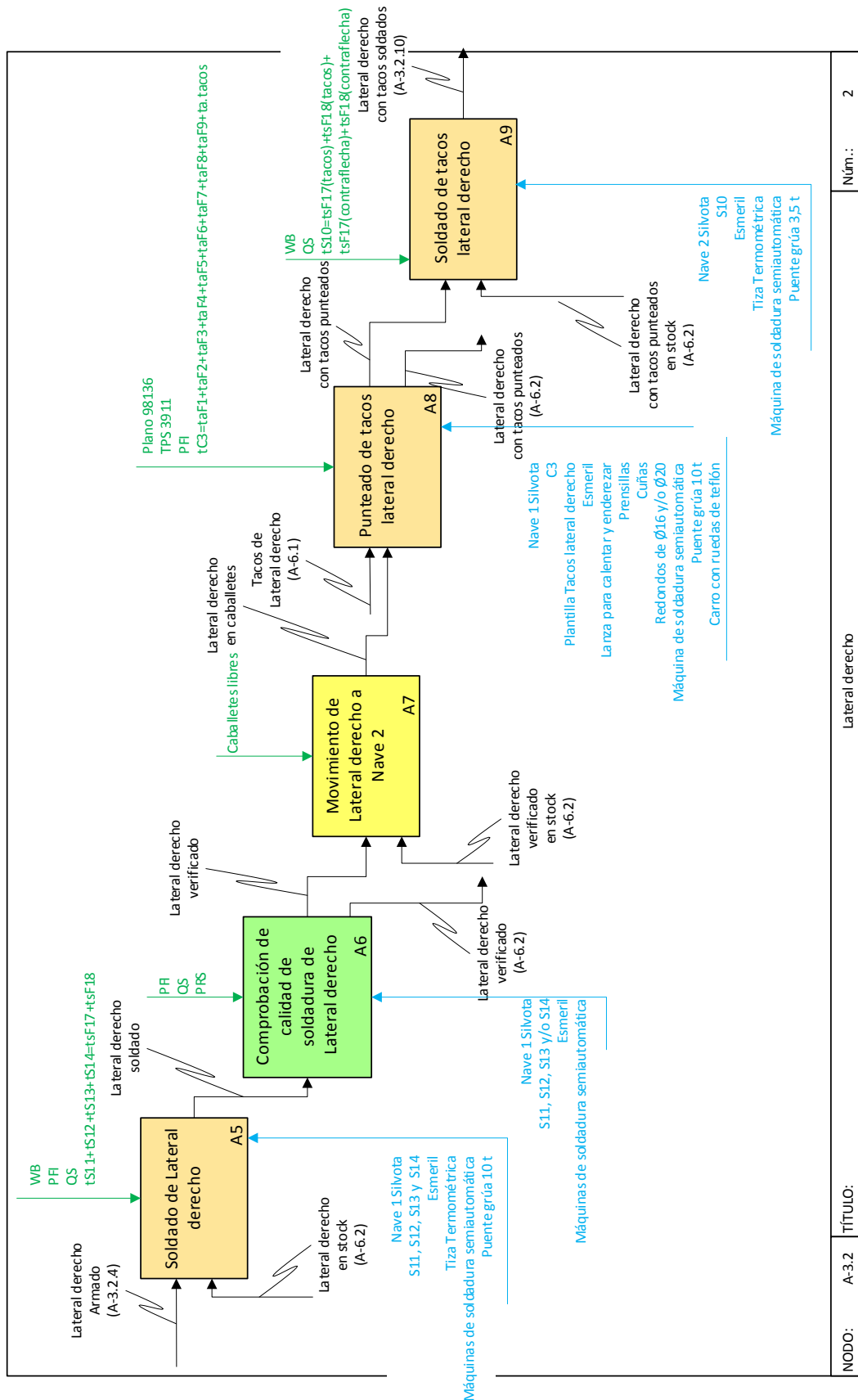
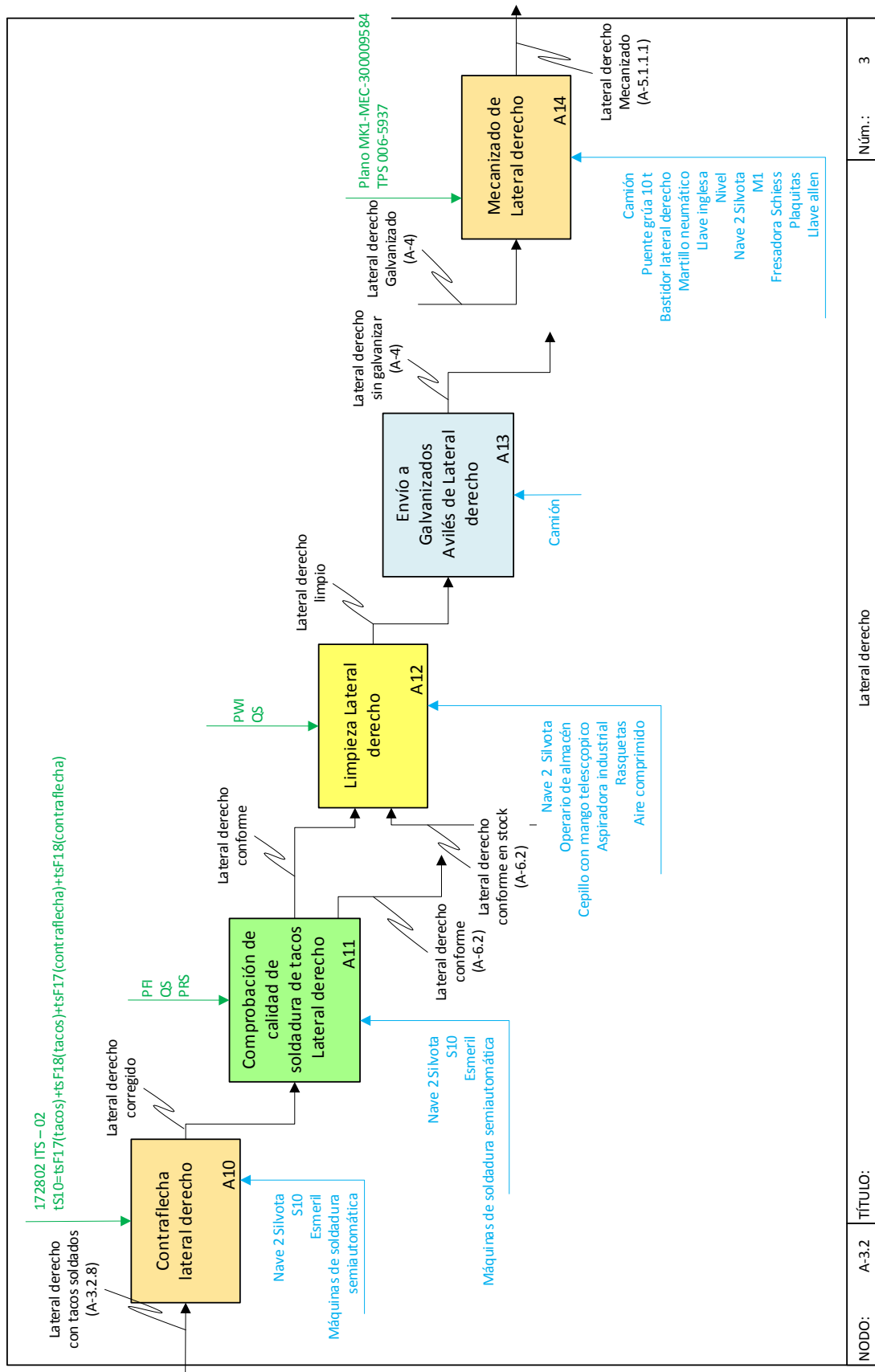


Figura 5.10. Diagrama IDEF 0. Actividad 3.2 (Parte 2): Lateral derecho. (Elaboración propia)



NODO:	A-3.2	TÍTULO:	Lateral derecho	Núm.:	3
-------	-------	---------	-----------------	-------	---

Figura 5.11 Diagrama IDEF 0. Actividad 3.2 (Parte 3): Lateral derecho. (Elaboración propia)

Cabe señalar en este punto que el motivo por el cual en Beams y en Laterales el galvanizado se realiza en momentos distintos de la producción se debe a que, tal y como se explicó anteriormente, las elevadas temperaturas de galvanizado provocan grandes deformaciones muy notables en una estructura como la del lateral, que hacen que si el mecanizado de este se realizara antes del galvanizado, ninguna tolerancia geométrica se cumpliría.

El mecanizado engloba las operaciones que se indican en la Figura 5.12. Tras ser recibido, el lateral es colocado en el bastidor libre. Entonces, un operario de mecanizado protege con cinta americana los huecos de las vigas que lo componen para evitar, en la medida de lo posible, la entrada de viruta. Es entonces cuando se eleva el conjunto lateral-bastidor y se coloca en máquina. Se fija a continuación el bastidor a la mesa de la fresadora, y después se alinea el lateral con la máquina y se introducen los ceros. Una vez realizadas estas operaciones, se inicia el mecanizado del lateral propiamente dicho, cuya duración se contabilizará hasta la extracción de la pieza y colocación en el suelo con su bastidor, al lado de la máquina. El lateral pasaría entonces al proceso de Ajuste.

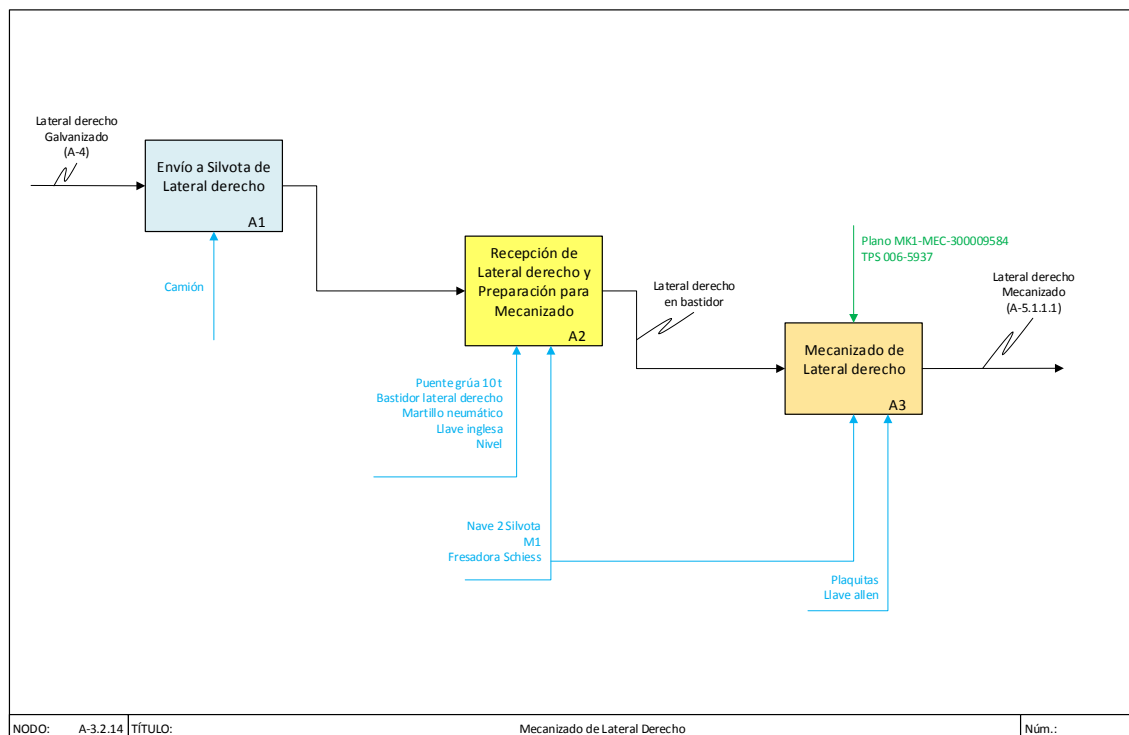


Figura 5.12. Diagrama IDEF 0. Actividad 3.2.14. Mecanizado de Lateral derecho. (Elaboración propia)

5.2.4.-Actividad 4: Galvanizado

Se incluye al Galvanizado como un bloque de actividad, por la importancia que tiene este en el proceso. No obstante, en su desarrollo Asturfeito S.A. no tiene potestad, más allá de que como cliente, pida que las piezas estén disponibles para un determinado día. Sin embargo, se considera de interés el poder llegar a conocer el tiempo que pasa desde que una ficha entra en sus instalaciones, hasta que es devuelta.

Debe ser señalado que con esta subcontrata se tiene una relación muy estrecha, y que ha manifestado activamente su compromiso con el proyecto. Por ello, la coordinación es bastante buena gracias a las llamadas que el Jefe de Proyecto realiza con regularidad para confirmar envíos y fechas.

5.2.5.-Actividad 5: Ajuste y Envío

Primeramente, se señala que se ha decidido que estas acciones compongan una única actividad al ser desarrolladas íntegramente por el departamento de Ajuste. Se pueden distinguir en ella tres grandes bloques, a saber: operaciones previas a montaje, montaje y desmontaje, y operaciones asociadas a envío de skeleton. (Figura 5.13).

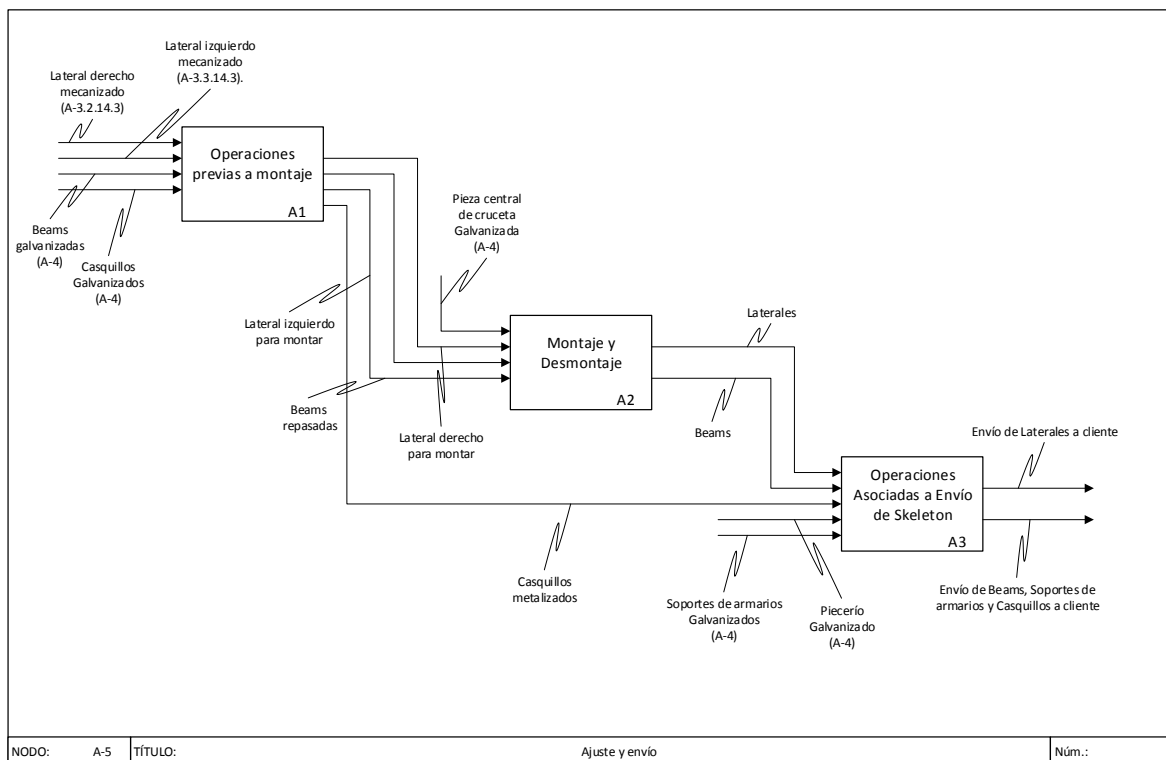


Figura 5.13. Diagrama de Flujo. Actividad 5: Ajuste y Envío. (Elaboración propia)

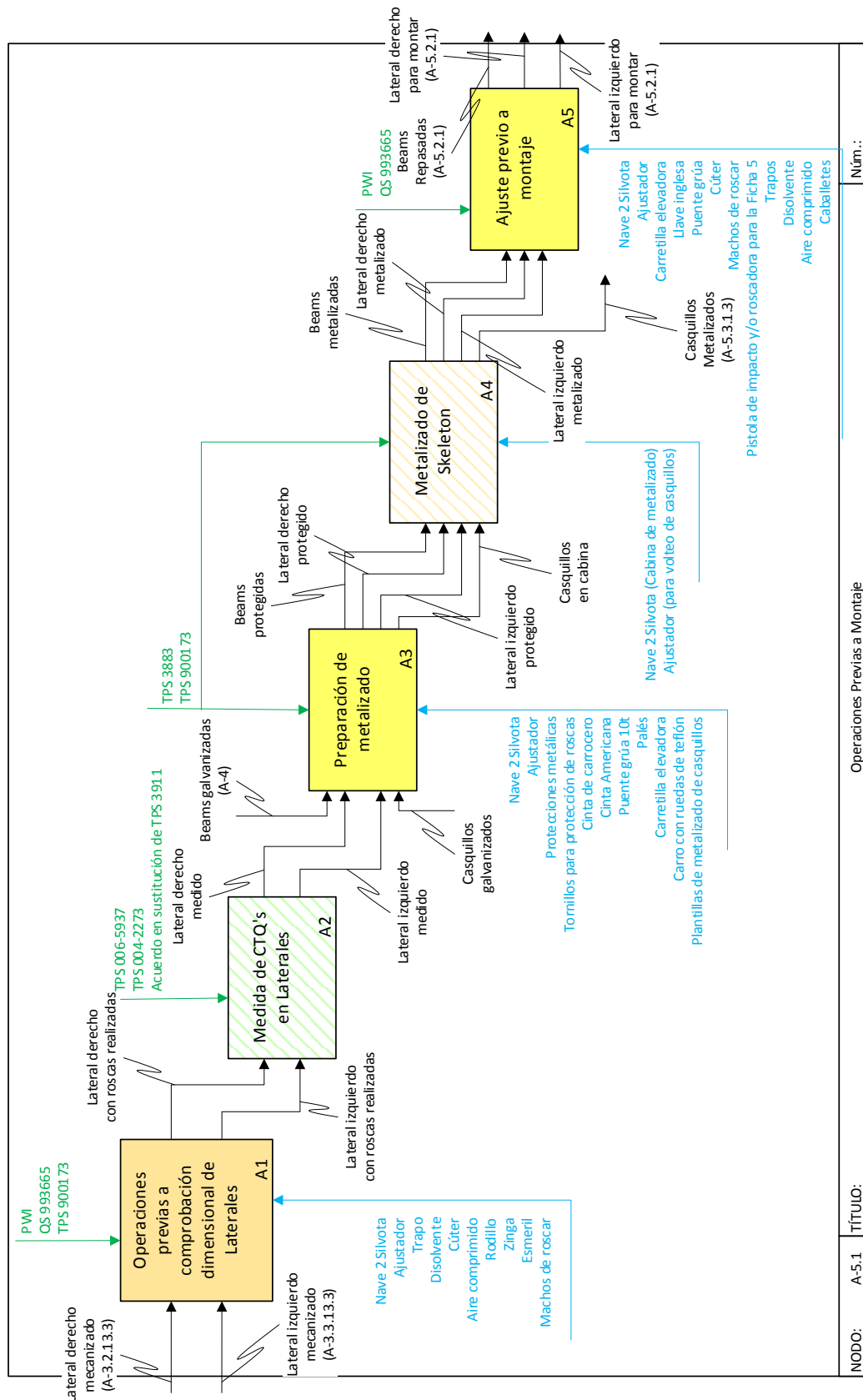


Figura 5.14 Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1. Operaciones previas a Montaje. (Elaboración propia)

En el bloque de “Operaciones previas a Montaje” se incluyen todas aquellas operaciones a realizar por el departamento de Ajuste sobre Beams, Laterales y Casquillos antes de poder comenzar con el montaje del skeleton, divididas en bloques (Figura 5.14).

El primer conjunto de subactividades recoge aquellas que se realizan antes de la comprobación dimensional de los laterales requerida por el cliente.

El proceso mostrado en la Figura 5.15, comienza con la recepción del lateral procedente del área de Mecanizado y movimiento a la zona de Ajuste para seguidamente tras ser colocado en apoyos comenzar con la retirada de la taladrina presente en su superficie con un paño y disolvente, se retiran también las protecciones que se colocaron antes del mecanizado para evitar la presencia de viruta en el interior de la estructura, y se sopla esta al completo con aire comprimido.

A continuación, puede producirse, o no, la reparación del galvanizado del skeleton, con un producto de galvanizado en frío conocido como Zinga. En ocasiones, el posicionamiento de la orejeta no es exacto y por tanto, antes de mecanizar el lateral, esta zona ha de ser calentada y enderezada cuando ya está en máquina. En caso de detectar que la planitud (con una tolerancia permitida de ± 1 mm) no se haya conseguido tras el galvanizado puede llegar a ser necesario calentar parte de la estructura. Sin embargo, desde que se comenzó la aplicación de la contraflecha este problema de gran escala prácticamente ha desaparecido, presentándose únicamente en la orejeta de forma residual. No obstante, se sigue incluyendo en el diagrama debido a que esto no debería de producirse nunca, es decir, después de galvanizada ninguna parte de la superficie debe de ser calentada, y por tanto es una actividad que debería de tenderse a eliminar por completo.

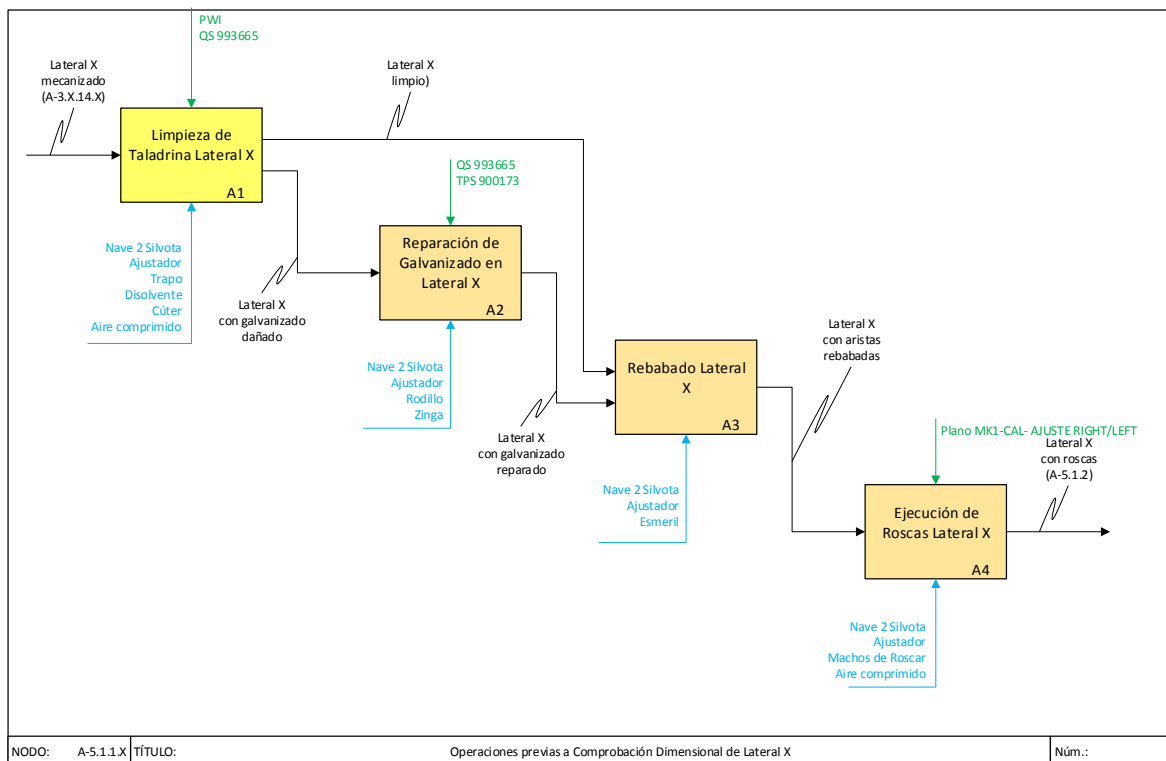


Figura 5.15. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1.1.X Operaciones previas a Comprobación Dimensional del Lateral X. (Elaboración propia)

A continuación, se rebaban las aristas del lateral en aquellas zonas que acaban de ser mecanizadas, para después ejecutarse las roscas de menor diámetro del lateral. Estas últimas deben de realizarse a mano con machos de roscar debido a que la fresadora no es accesible a agujeros de diámetro tan pequeño.

Se considera entonces que el lateral se encuentra listo para medir. Se contrata a una empresa externa, DOGRAM, para la realización de estas medidas, desplazándose un operario a la propia planta. Esta misma empresa, es la encargada de la medida del skeleton una vez montado.

Como ya se mencionó, las zonas de fricción de todas las piezas del skeleton que irán unidas entre sí mediante pernos, deben recibir un tratamiento superficial adicional, el metalizado, realizado dentro de planta, pero subcontratado a SEM. Dentro de la actividad "Preparación de Metalizado" se tienen operaciones previas a metalizado para Beams y casquillos, ambos procedentes de galvanizado; y para Laterales recién medidos, en total

cuatro bloques, cada uno de los cuales sigue un esquema interno general como el que se muestra en la Figura 5.16.

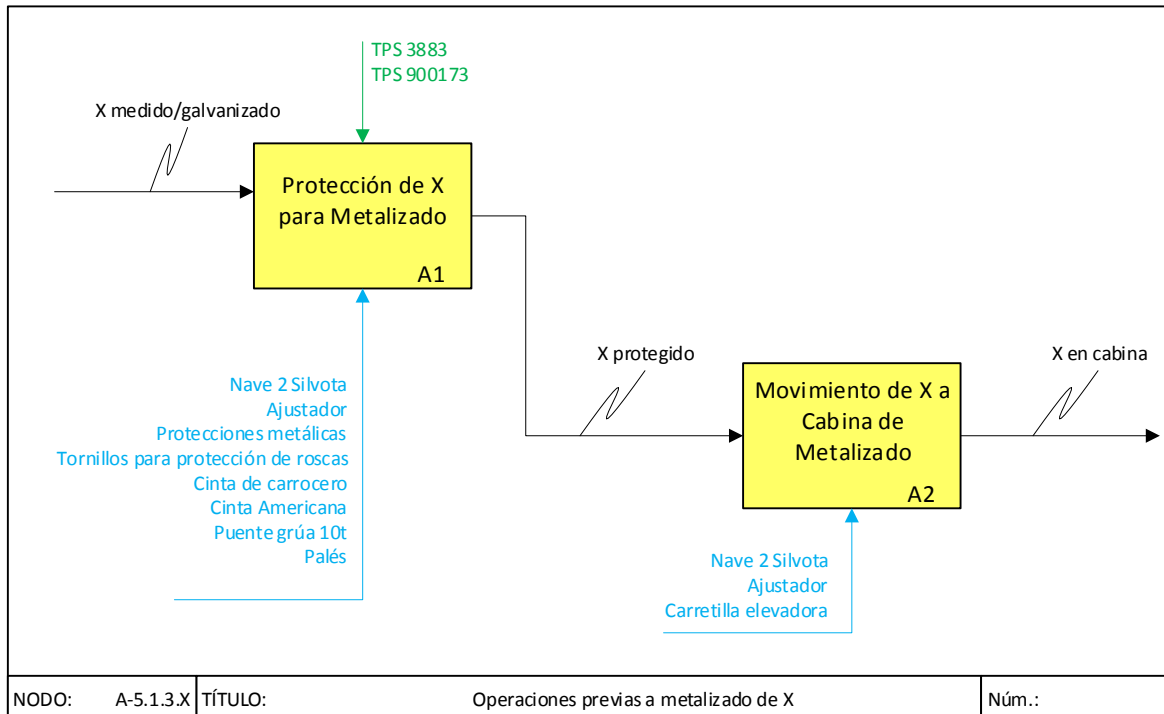


Figura 5.16. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1.3.X Operaciones previas a Metalizado de X.

(Elaboración propia)

La protección en Beams y Laterales consiste en la colocación de las plantillas de metalizado, que delimitan las zonas a metalizar, así como la colocación de cinta de carroceros y encima cinta americana, en zonas adyacentes a aquellas que aun siendo metalizadas no disponen de una plantilla al uso. Además, se colocan tornillos en aquellos taladros roscados, y protecciones de espuma en aquellos que no cuenten con rosca. En los casquillos, la protección consiste en la colocación de estos en 2 plantillas fabricadas a tal efecto. Una vez protegido, se llevará a metalizar cada conjunto de elementos.

Para el "Metalizado" se dispone también de un bloque para cada conjunto, la excepción se encuentra aquí en los casquillos, que tal y como se muestra en la Figura 5.17, han de ser volteados y recolocados en plantilla por un Ajustador, por lo que el metalizado se realiza en dos fases.

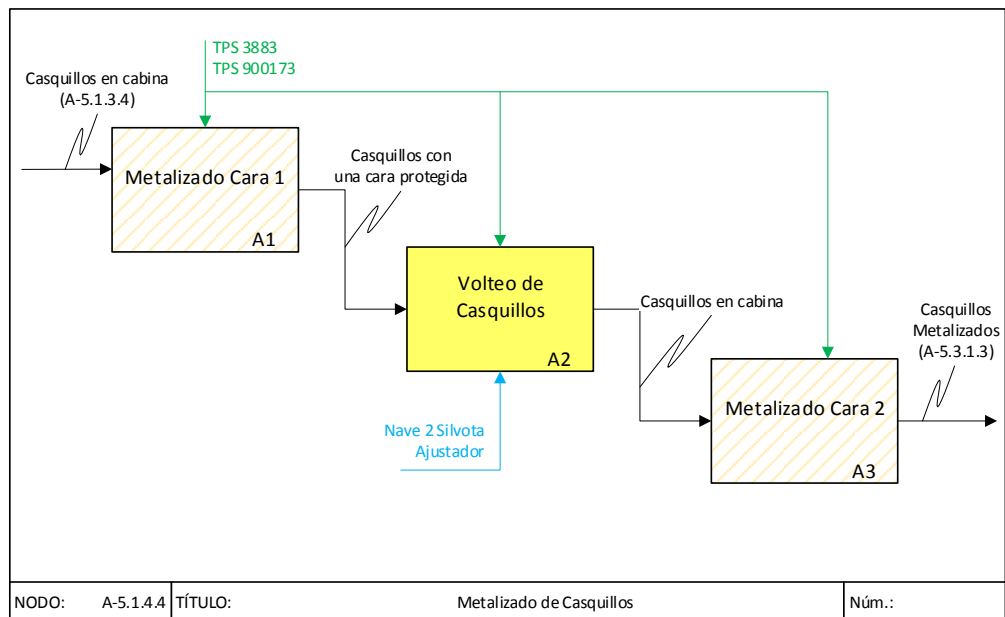


Figura 5.17. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1.4.4: Metalizado de Casquillos (Elaboración propia)

Tras el metalizado se tiene el “Ajuste previo a Montaje” subactividad que incluye a todos los elementos que serán montados, es decir, a Beams y a Laterales.

En el caso de las Beams se ha de distinguir entre aquellas fichas que cuentan con roscas y aquellas que no (Figura 5.18).

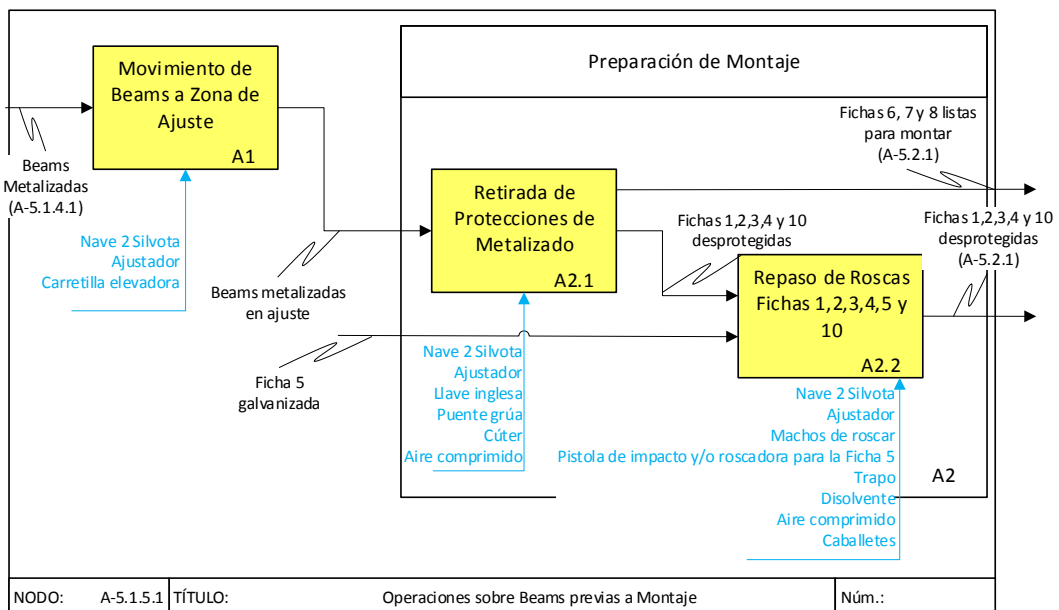


Figura 5.18. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1.5.1: Operaciones sobre Beams previas a Montaje (Elaboración propia)

Todas serán movidas a la zona de Ajuste dispuesta a tal efecto y sus protecciones retiradas, para a continuación, soplar toda la superficie con aire comprimido para eliminar restos de granalla. Al no disponer de roscas las Fichas 6, 7 y 8 ya están listas para montar, sin embargo, las Fichas 1, 2, 3, 4, 5, y 10 han de ser repasadas para lo cual primero han de ser sopladas y sus roscas limpiadas con disolvente. Después las roscas son repasadas. Especial mención requiere la Ficha 5, la cual, procede directamente de galvanizado. Esta ficha posee dos roscas a cada lado, lo que hace que si se protegen no entre el galvanizado en el interior de la pieza. Al no ir protegidas, el galvanizado se adhiere a estas y como consecuencia el repaso tras este proceso requiere de mucho más esfuerzo que en el resto de las fichas. Los operarios han de ayudarse de una pistola de impacto, cuando en los otros casos el repaso es manual. Una vez repasadas estas Beams se encuentran listas para montaje.

En el caso de los Laterales (Figura 5.19), se mueven a los apoyos dispuestos para ellos en la zona de Ajuste, para a continuación retirar sus protecciones. Es indispensable que los laterales sean soplados concienzudamente tanto externa, como sobre todo internamente, para eliminar cualquier resto de viruta que todavía pueda quedar del mecanizado, o de partículas de metalizado. Una vez se tiene esto el lateral puede pasar a Montaje.

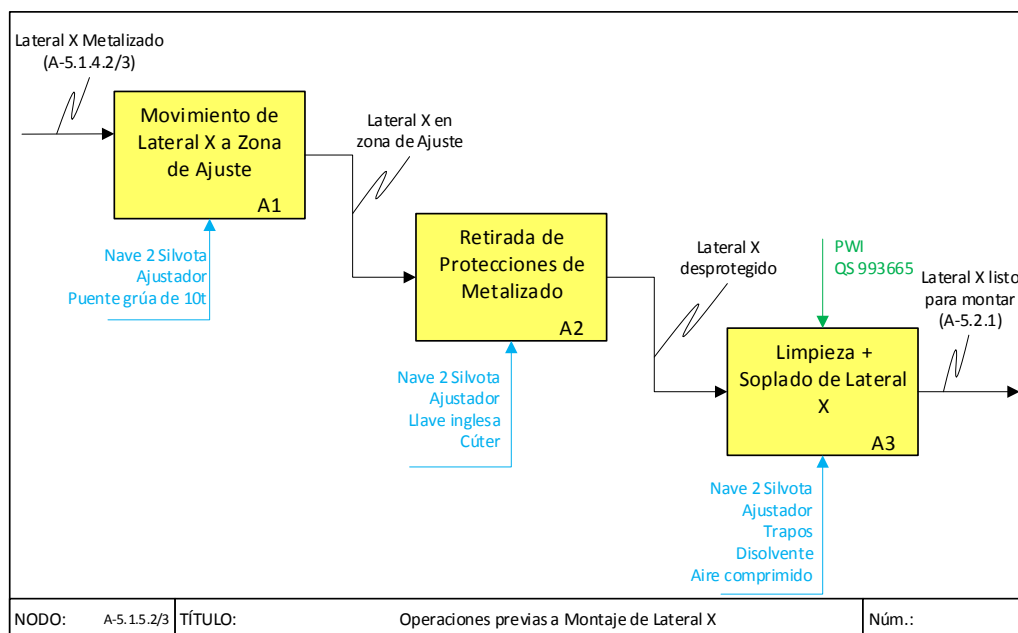


Figura 5.19. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.1.5.2/3: Operaciones previas a Montaje de Lateral X
(Elaboración propia)

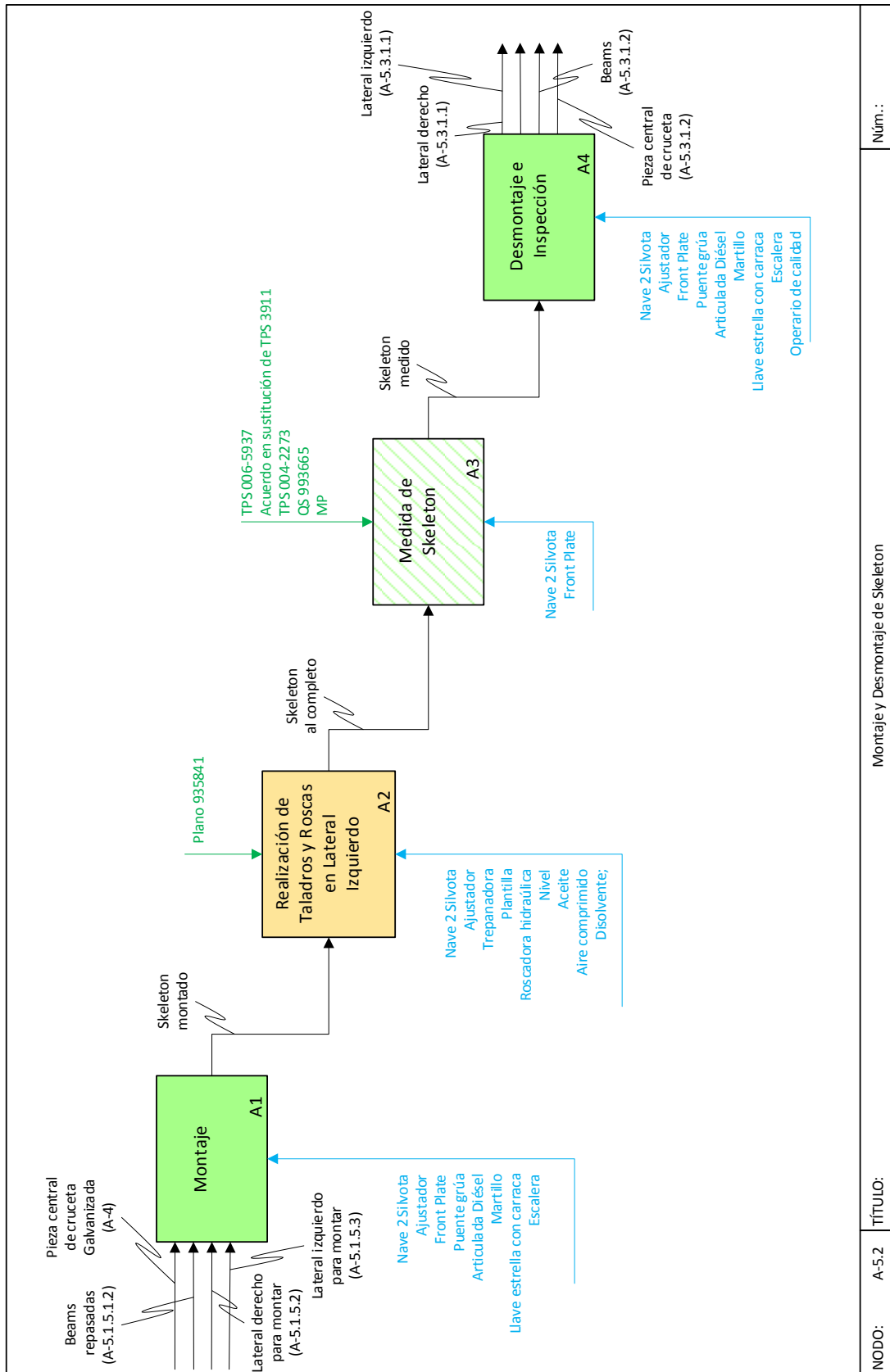


Figura 5.20. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.2: Montaje y Desmontaje de Skeleton (Elaboración propia)

En este punto ya se tienen todos los elementos listos para *“Montaje y Desmontaje”* por lo que dos operarios de Ajuste proceden a realizar esta actividad de forma coordinada (Figura 5.20). Una vez ejecutado el montaje, estos mismos operarios se encargan de realizar los taladros presentes en el lateral izquierdo con sus respectivas roscas. Al principio de la producción se trataba de una tarea costosa en tiempo y esfuerzo, sin embargo, se creó también una plantilla para situar correctamente los puntos donde realizar los taladros, simplificándose el proceso considerablemente.

El motivo por el cual estos taladros se realizan en este punto y no en fresadora, es que es más costoso en tiempo el hacerlo en esta última dado que habría que dar la vuelta al lateral y volver a introducir los ceros en máquina.

Es en este punto cuando el operario de DOGRAM mide el Skeleton montado. Una vez finalizada esta acción, los dos operarios anteriores nuevamente de manera coordinada proceden a desmontar el skeleton depositando las Beams en caballetes. Simultáneamente al desmontaje, un operario de calidad realiza una inspección visual de todas las Beams, así como una medida del espesor del recubrimiento indicando mediante una cinta todos los daños que sean detectados para que los operarios de Ajuste los reparen.

Se llega entonces a *“Operaciones de Ajuste previas a Envío de Skeleton”* la cual se puede dividir en dos subactividades, tal y como se muestra en la Figura 5.21.

Dentro de *“Preparación para Envío”* se distingue a su vez, entre un bloque para Laterales, otro para Beams y uno para Casquillos.

En el caso de los Laterales (Figura 5.22) en primer lugar se deberán de preparar los bastidores de envío, en adelante A-Frames. Estas estructuras son de propiedad compartida entre la empresa objeto de estudio y el cliente. Tras un determinado envío de laterales, el cliente fleta un transporte para enviar A-Frames a las instalaciones de la empresa, las cuales son almacenadas fuera de la nave. Por esto último, es necesario transportarlas hasta la zona de preparación de envío para lo cual se emplea una carretilla elevadora, este proceso se solapa con el de desmontaje, ya que hasta que las A-Frames no se encuentran disponibles no se retiran los laterales del cabezal de montaje, pero se coloca aquí y no antes, porque se considera que forma parte de la preparación.

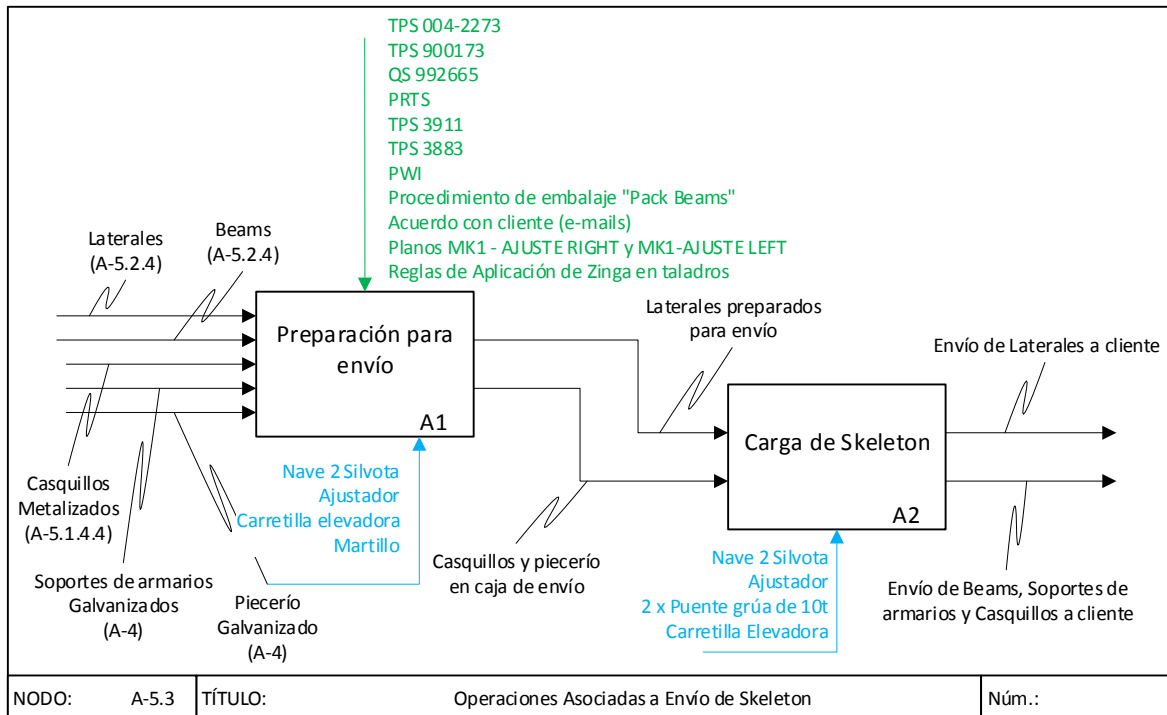


Figura 5.21. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.3: Operaciones Asociadas a Envío de Skeleton
(Elaboración propia)

Una vez colocados sobre los bastidores, y al igual que ocurre con las Beams, un operario de Calidad comprueba visualmente la presencia de defectos, que seguidamente los operarios de Ajuste deberán de reparar. Además, como garantía de que se revisa el skeleton al completo, el operario de Calidad dispone de una lista con todas aquellas zonas que han de ser revisadas.

A continuación, se realiza un último control pasa-no pasa, a las roscas del skeleton mientras que al mismo tiempo se protegen. Cabe señalar, que habrá que aplicarles un producto Non-Nafta que evita la corrosión y facilitará la extracción de las protecciones en destino.

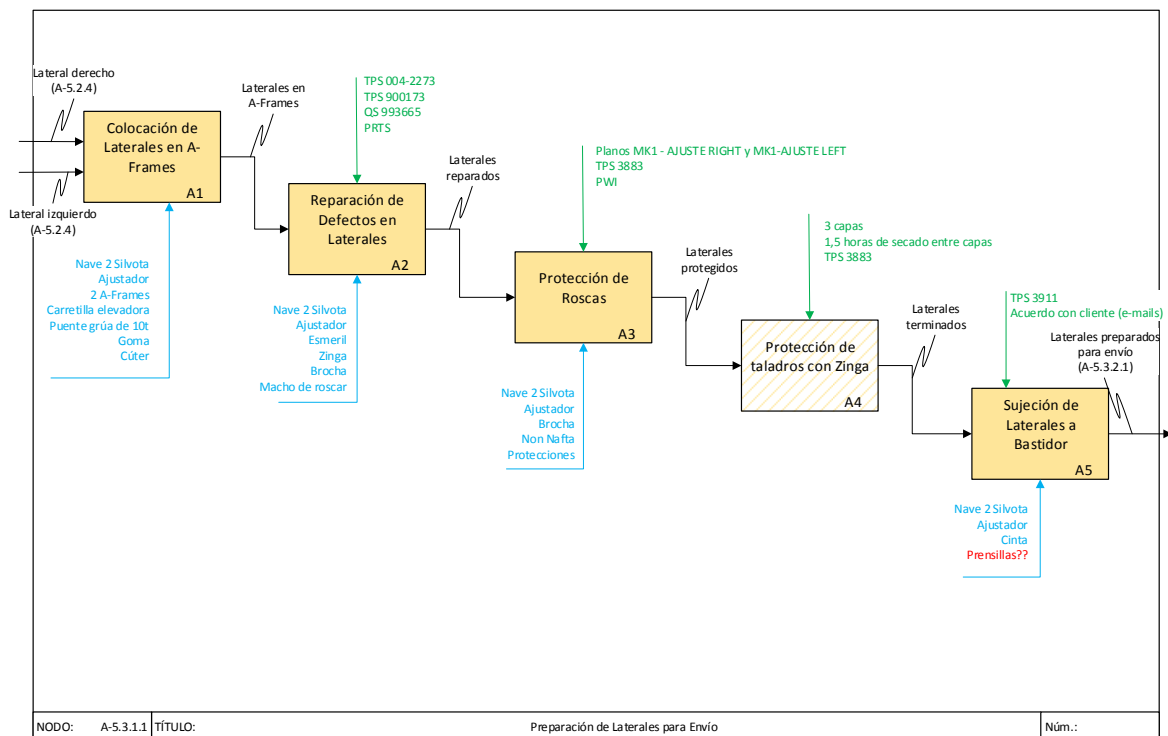


Figura 5.22. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.3.1.1: Preparación de Laterales para Envío (Elaboración propia)

SEM asume dentro de su alcance la aplicación del galvanizado en frío en los agujeros pasantes no roscados del skeleton que requieran, de acuerdo con la TPS 3883, de protección, siendo en este momento cuando se realiza la misma. Serán necesarias 3 capas, con un periodo de secado aproximado entre ellas de 1,5 horas.

Es en este punto cuando se procede a trincar el skeleton, es decir, asegurarlo para que quede fijo al bastidor y no se mueva.

En el caso de las Beams (Figura 5.23) los defectos señalados también se reparan. Aquí se tiene la salvedad de que no todos los componentes poseen roscas, por lo que solo serán protegidas en aquellas fichas que las tengan. A medida que se termina de repararlas, son colocadas sobre palés en dos conjuntos de acuerdo con lo pactado con el cliente. Finalmente, las Beams también se aseguran a los palés, colocándose en la parte superior de uno de los bultos, la pieza central de la cruceta, así como los soportes de los armarios.

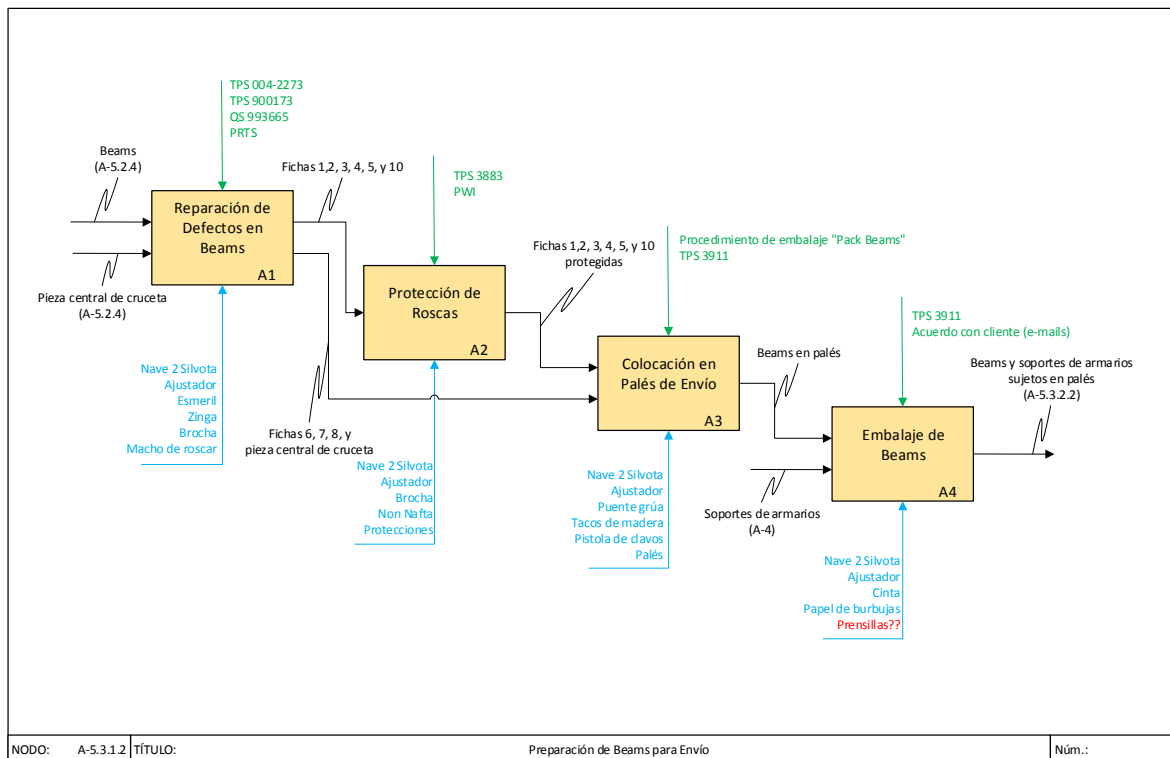


Figura 5.23. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.3.1.2: Preparación de Beams para Envío (Elaboración propia)

Por último, los casquillos (Figura 5.24), de los cuales se recuerda que su última operación es el metalizado, son llevados a la zona de Ajuste dispuesta para su ubicación, donde un operario prepara el envío de acuerdo a lo pactado con el cliente en un cajón de madera.

En este momento se tiene todo preparado para enviar, por lo que se llega al último paso de "Carga de Skeleton", el cual se ha dividido en dos bloques. Por un lado, se tiene la "Carga de Laterales en camión" y por otro, la "Carga de Beams y Casquillos en camión". Se deduce por tanto que Beams y Laterales de cada skeleton van separados en diferentes camiones, habiendo 2 a la semana para cada efecto. Por su parte el cajón de madera que alberga los casquillos contiene los correspondientes a 2 skeletons por lo que se envían con un camión de Beams, pero únicamente una vez por semana.

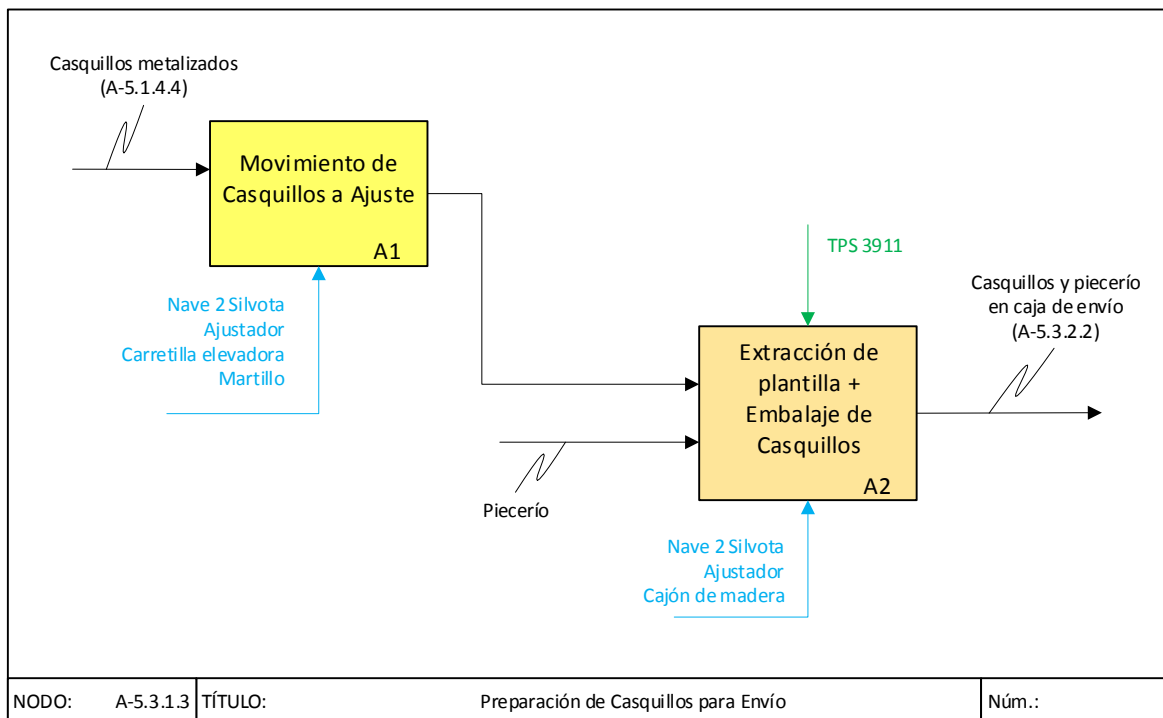


Figura 5.24. Diagrama IDEF 0. Actividad 5.3.1.3: Preparación de Casquillos para Envío (Elaboración propia)

5.2.6.-Actividad 6: Gestión de stock

A lo largo de todo el proceso se ha podido apreciar que existen una serie de orígenes y destinos relacionados con el stock. Tras un análisis exhaustivo del proceso, así como de la necesidad de disponer de bloques e inventarios entre muchas de las subactividades se optó por crear una propia para abordar este asunto. Al no encontrarse una producción balanceada, la generación de stock es inherente al proceso en sí.

Se distinguen dentro del mismo tres grandes bloques, el primero sería de “*Stock de Componentes*”, entendiendo como tales a todas aquellas piezas que provienen de los proveedores, que no se encuentran unidas entre sí mediante ningún proceso, y que formarán en estadios posteriores parte de fichas. Un operario de almacén es el encargado de llevar el control de las actividades asociadas a estos componentes. Se señala en este punto que en la parte baja de las mesas de las plantillas se almacenan los elementos pequeños que formarán parte de ellas, y por tanto estos han de ser repuestos regularmente.

Por otro lado, se tiene el “*Stock dentro de planta*”, el cual se refiere a todas las piezas armadas o soldadas que se encuentran a la espera de un nuevo proceso y que ocupan una gran cantidad de espacio dentro de la planta. A esta actividad no se tiene asociado a ninguna persona concreta ya que su movimiento depende de los caldereros y soldadores que las van depositando o recogiendo para continuar con la fabricación.

La planificación de los envíos da lugar a un tercer tipo de stock. Actualmente, no se tienen optimizados ni los transportes ni los acuerdos con las subcontratas y por tanto no hay rutas creadas que puedan ser cubiertas con un camión únicamente etc. Por ello, se almacena stock necesario para hacer un envío específico de cada una de las piezas en la subactividad conocida como “*Stock para envío*”, correspondiéndose este con el punto de espera hasta que las piezas salen para sus respectivos destinos, con los tiempos que ya se expusieron al explicar los envíos.

5.3.DETERMINACIÓN DE TAKT TIME

Una vez conocido el proceso, y recogida la información acerca del mismo, se decide realizar el cálculo de takt time, que no deja de ser, el tiempo disponible que puede ser dedicado a la fabricación de una unidad de producto. Para ello se creó una sencilla hoja de cálculo, cuyo esquema es mostrado en la Figura 5.25. Para la determinación de este tiempo disponible es necesario conocer de cuánto personal se dispone en cada área, así como en cuántos turnos se divide el trabajo, y la duración de los mismos (información recogida en Anexo IV).

ÁREA DE ESTUDIO					
Días de trabajo completo		[días]		Demanda semanal	<i>skeleton</i>
Trabajo en fines de semana		[días]			
nº de turnos		-		takt time	[min]
nº de turnos en fin de semana		-			[h]
nº de operarios por turno		-			
Duración de turno		[h]			
Descanso por turno		[min]			

Figura 5.25. Ejemplo de Hoja Excel de determinación de takt times.

En este caso se ha decidido determinar el takt time por áreas, distinguiéndose cuatro sobre las que se tiene potestad y se podría actuar a día de hoy, siendo estas: armado, soldado, mecanizado de laterales y ajuste.

Se produce aquí una particularidad, y es que por decisiones estratégicas de producción, la demanda impuesta por el cliente, y por tanto la que afecta al área de Ajuste es de 2 skeletons por semana. No obstante, la de las otras áreas será de 2,5 skeletons, con la consiguiente generación de stock derivada.

Se muestran los takt time de las diferentes áreas en función del personal disponible en el Anexo IV.

Sin llegar a medir tiempos de proceso, lo cual se expondrá en el siguiente apartado, ya se detectan problemas, pues los takt time se alejan mucho de las horas imputadas al proyecto, sobre todo en Ajuste.

5.4.REALIZACIÓN DE VSM ESTADO ACTUAL

Se decide de forma simultánea al punto anterior, la realización de un VSM de las distintas áreas, para lo cual, se parte de los diagramas IDEF 0, a los cuales se les añade los flujos de información. Debido a la longitud y complejidad del proceso, se ha tenido que subdividir en partes dado el número de operaciones. Por otro lado, se ha simplificado notablemente en comparación con el diagrama de flujo real, pues en la realización de este tipo de diagramas, los cuales no dejan de ser una herramienta temporal, se valora la simplicidad y la recogida de la información esencial, para ver de una forma visual el proceso y poder plantear así las mejoras.

Se señala en este punto que se han creado los “esqueletos” de todos los VSM, mostrados en el Anexo V, con el objetivo de que sean rellenados cuando la producción este establecida. Sin embargo, y debido nuevamente a las circunstancias, únicamente se disponen de datos de las nuevas instalaciones en las áreas de Armado y Soldado, y debido a circunstancias particulares no se han podido determinar los tiempos de stock. Sin embargo, se prevé la realización de una medida más exhaustiva de los tiempos. Por otro lado, los tiempos de Ajuste fueron medidos en las instalaciones del PEPA, y por ello, no son

del todo extrapolables, pero este estudio de tiempos queda recogido en el propio Anexo V, donde además se incluye al final unas tablas resumen, que relacionan las áreas con los tiempos medidos, el personal y los takt time, y que permiten detectar problemas, para los cuales se intenta buscar solución.

El siguiente paso consistiría en la realización del VSM futuro, sin embargo, y debido a la imposibilidad de reunión con el equipo de trabajo que puede tomar las decisiones pertinentes a este respecto y al momento en que se encuentra la producción, no ha sido realizado. El autor del presente trabajo se remite en este punto al Capítulo 6: Propuesta de implantación, donde se recogen todas las acciones de mejora que se considera viable implantar a día de hoy, o a corto plazo.

Capítulo 6. Propuesta de implantación

6.1. NUEVO LAYOUT

Se considera el Layout en planta como uno de los pilares centrales de la implantación de un sistema *lean*, para ello se partió de la idea inicial de una distribución en U, lo más lineal posible entendiendo la complejidad del proceso. Este Layout inicial se muestra en el Plano 1 del Anexo II, donde se observa que se habían distribuido las zonas y procesos de tal forma que todas las operaciones antes de galvanizado fueran desarrolladas en la Nave 1, para que a su regreso, todos los procesos restantes se ejecutaran en la Nave 2. Este plano pasó por distintos estadios a medida que se cerraban las dimensiones de las máquinas a instalar etc.

Sin embargo, tras el traslado del proceso de soldadura se detectó que las medidas tomadas inicialmente, así como las dimensiones de los elementos a colocar no eran las que se habían reflejado en el plano. Por ello, se procedió a la nueva toma de medidas y se estableció un Layout provisional, el cual fue siendo modificado en función de las necesidades en fábrica y las ideas propuestas.

Se señala en este punto que el Layout definitivo no sigue estrictamente los principios del *lean* pues parte del proceso de soldado que se llevaba exclusivamente a cabo en la Nave 1, hubo de ser trasladado a la Nave 2. Se propusieron una serie de medidas alternativas para que el proceso a trasladar debido a la falta de espacio fuera el soldado de piezas más pequeñas y menos complejas a la hora de moverse. Sin embargo, y debido a decisiones estratégicas tomadas por la dirección, finalmente se trasladó la parte final del proceso de soldado de laterales, es decir, la colocación de tacos, con todo lo que ello supone dado que transportar el lateral requiere de grúas, carros, carretillas elevadoras, y 2 personas, mientras que las Beams pueden transportarse más fácilmente en un palé y una carretilla.

Finalmente, el Layout implantado es el que se muestra en el Plano 2 del Anexo II. En base a la observación se detecta que pueden producirse paradas en la producción de la Nave 2, debidas a la falta de disponibilidad de puentes grúa, medio de transporte más

utilizado en planta. Por ello, se propone una simulación de estos movimientos, de tal forma que pueda acotarse cuándo es más probable que se produzcan, y ver qué soluciones pueden ser tomadas al respecto. Más si se tiene en cuenta que los puentes grúas de la Nave 2 son de 10 t, y que cuando haya que cargar laterales en camión, estos se cargan por parejas, por lo que habrá que usar 2 puentes de forma simultánea, lo que puede interrumpir el trabajo en fábrica.

6.2.DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL

Otro punto crítico que abordar al implementar esta metodología es el de la distribución de personal. Los principios del *lean* se fundamentan en las personas. Una empresa que desea transformar su organización debe aspirar a contar con personal polivalente, capaz de resolver los problemas del día a día. Sin embargo, esta polivalencia no se puede dar en todos los aspectos.

Se tiene claro que en Calderería y Soldadura se requiere de profesionales expertos en estas áreas, y que sean poseedores de una habilidad contrastable tanto en la comprensión de los materiales como ejecución de la soldadura. Se ha optado en esta área por una distribución de personal fija, en la cual los mismos soldadores se encarguen siempre de soldar las mismas fichas. No obstante, si uno de ellos se ausenta, todos conocen los componentes a fabricar, y son capaces de adaptarse para responder a las exigencias de la producción.

Esta distribución fija de personal, presentada en el Anexo IV hace que los tiempos de armado y soldado se hayan reducido notablemente tras la mudanza a las nuevas instalaciones, pues anteriormente la rotación de personal era constante.

Se ha de tener en cuenta que, a la hora de determinar los tiempos de fabricación un mismo calderero/soldador, se responsabilizará de varias piezas, por lo que las reglas a tener en cuenta pasan porque un mismo operario no estará realizando dos piezas a la vez, y los tiempos habrán de sumarse.

En el área de Ajuste sí que se aplicará el concepto de polivalencia más verazmente. Por un lado, el oficio es ya de por sí polivalente, pero además asumirán tareas de reparación

de pintura, embalaje, y movimientos en planta, de tal forma que excepto el mecanizado de laterales, el soldado de tacos y el metalizado, el resto de las operaciones de la Nave 2 serán llevadas a cabo por ellos.

Cabe señalar que el embalaje es una actividad que durante el tiempo que la producción se mantuvo en el PEPA, fue realizada por una subcontrata de embalaje, sin embargo, en Silvota esta tarea es asumida por los ajustadores, ahondando de esta forma en el concepto de polivalencia.

Se propone una asignación de tareas y responsabilidades a ajustadores concretos, sobre todo, para evitar olvidos y despistes por cambio de funciones. Sin embargo, debido al margen de maniobra en tanto a polivalencia y rapidez, todos son capaces de ejecutar cualquiera de las acciones descritas.

6.3. PROPUESTAS ASOCIADAS AL ANÁLISIS DEL PROCESO

Simplemente tras la fase inicial de análisis del flujo de producción y de la clasificación de las actividades por colores, ya se pueden comenzar a plantear acciones de mejora.

Se detecta que los procesos que adicionan valor al producto por sí mismos, es decir, aquellas operaciones por las que el cliente paga no son mayoría. Se comienza entonces un análisis por actividades.

En la Actividad 1 se considera que el margen de mejora está relacionado con la gestión del material en sí. Las acciones se centran fundamentalmente en la relación con el proveedor principal, siendo este OX, planteándose el cambio de la forma en la que se piden las piezas. Para ello se propone el dejar de pedir varias unidades de un mismo ítem, si no comenzar a pedir por componentes de fichas, es decir, poder empezar a recibir en función del takt time, únicamente los componentes del skeleton que empezaría a fabricarse, reduciéndose así la gestión del material por parte del almacenero, así como el stock.

En el Armado, correspondiente con parte de las Actividades 2 y 3, se plantea una reducción del tiempo y del papeleo mediante el desarrollo de un proyecto con el proveedor mayoritario, pues se recuerda que una de las acciones que ha de realizar el calderero es la identificación manual de las piezas que se ponen en cada ficha para garantizar la

trazabilidad. Este proceso se simplificaría notablemente si las piezas vienen marcadas con un código QR en el cual se almacena toda la información considerada necesaria como puede ser la colada de la que procede el material, origen del mismo, nombre de la pieza, marca de acopio, ficha a la que pertenece... Esta propuesta, tras pasar por una fase de desarrollo buscando entre proveedor y cliente una solución de compromiso, ha empezado a materializarse en abril, cuando los primeros lotes de piezas han llegado con una pegatina QR, simplificándose la trazabilidad, al quedar registrada toda la información únicamente mediante un escaneo.

Por otro lado, determinando los tiempos de los procesos de armado y soldado de Beams y Laterales, por ser los que llevan un tiempo razonable en las nuevas instalaciones, se podrá ejecutar un cambio en la distribución del personal original, para poder equiparar la carga de trabajo y alcanzar un relativo nivelado de la producción (por puestos). Si además se comparan estos tiempos con los takt time, se puede determinar si la plantilla está o no bien dimensionada (Anexo V).

El objetivo a largo plazo sería la determinación de los tiempos de arco, para llegar a calcular los consumibles de soldadura a emplear, así como otros materiales para poder llegar a predecir cuándo serán necesario nuevos consumibles y evitar la parada o retraso de la producción por la falta de estos. Al mismo tiempo se detectaría el tiempo empleado en movimientos etc, y se buscarían formas de optimizar el proceso.

El nivelado en estos términos permitirá reducir el stock en planta hasta el mínimo requerido por contrato con el cliente, que es de en torno a tres skeletons.

Por otro lado, se detectan muchos envíos en la Actividad 2, relacionados con el "*Mecanizado de Beams*" y el traslado de las piezas una vez mecanizadas a GA. Además, tal y como están programados los envíos actualmente se almacena mucho stock en planta. Por ello se propone a Dirección adquirir potestad para la gestión de los envíos, pudiéndose realizar un estudio logístico para establecer unas rutas fijas, el estadio ideal sería aquel en el que con un camión se pudiera llevar semanalmente las piezas a mecanizar a todos los talleres dedicados a tal efecto en un solo envío. Lo mismo se propone para su recogida y envío a galvanizar, pudiendo coordinarse una entrega de material sin mecanizar, con una

recogida de material mecanizado, y transporte del mismo a GA, de tal forma que el transporte se aprovechara al máximo. Se conoce que se perdería tiempo en la preparación de un palé con las distintas piezas debido a que irían más piezas en un camión que actualmente, que además supondría un incremento de coste en las subcontratas, sin embargo, se prevé que este sería compensado con el ahorro en transporte, presumiblemente mayor. Sin embargo, este estado ideal es poco probable debido a que se exige por parte de los centros de mecanizado un lote mínimo para mecanizar. Es aquí donde entra otro de los puntos clave de la filosofía Lean Manufacturing, el extender la práctica a suministradores y subcontratistas. Se aprecia en este punto que la dimensión del problema es gigantesca, por lo que se tratará desde la Dirección de incentivar a estas empresas a implementar la filosofía, pero hasta que eso ocurra, se intentarán reducir los transportes a galvanizado, aspirándose a que en este caso sí que se pueda conseguir el transporte de los ítems de un skeleton. Se entienden excepciones como en el caso de rosetas, los casquillos, soportes de armario y resto de picerío que al ser de pequeño tamaño se seguirán transportando en lotes.

En el caso de la Actividad 3, los transportes ya están reducidos al mínimo prácticamente, aunque se baraja la posibilidad de mandar y recoger de galvanizar dos laterales a la vez, pero eso generaría una espera para entrada en máquina de mecanizado de uno de ellos, entonces inicialmente se prefiere mantener la cadencia existente entre ambos. Al solo haber una máquina para mecanizar los laterales, siendo este además un proceso bastante largo (en torno a 24h), esta operación es considerada el cuello de botella del proceso pues las Beams llevan asociado un tiempo de mecanizado menor (al estar repartidas en diferentes máquinas).

Las actividades marcadas en verde bien son exigidas directamente por el cliente, o bien son necesarias para cumplir los requisitos de calidad exigidos. No obstante, a la vista de la Actividad 5, se propone negociar con el cliente la eliminación de determinadas operaciones, o por lo menos su no realización de forma sistemática como es el montaje y el desmontaje del skeleton.

6.4. PROPUESTAS ASOCIADAS AL VSM

Tal y como se muestra en el Anexo V, se tiene un ligero desfase entre los tiempos de armado y su takt time, que podría ser compensado con un estudio en detalle del proceso, y mejoras en cuanto a estandarización de operaciones. No se contempla la contratación de más personal y se recomienda un mejor nivelado de la producción, para repartir la carga de trabajo de forma más equitativa.

Seguidamente, se compara el takt time de Soldadura, con los tiempos de soldado, teniendo en cuenta la distribución del personal, y se observa que el conjunto de piezas necesario para un skeleton se produce en un tiempo mucho menor del takt time, por lo que, aparte de recomendar la redistribución del personal dado la diferencia de horas por persona invertidas en un skeleton, se plantea seriamente la posibilidad de reducción de la plantilla, para evitar la generación de stock.

Respecto al área de Ajuste, se tiene un gran problema en tanto a la diferencia de horas entre los tiempos medidos, el takt time y las horas de personal imputadas al proyecto, por lo que se recomienda la creación de un Grupo Kaizen que ayude a determinar el origen de este problema, y llegar a la solución más adecuada para el proceso.⁹

En cuanto a los flujos de información, se ha detectado que la estructura de la empresa es demasiado vertical, entre otras cosas porque es el Jefe de Producción quien en última instancia marca el avance de la misma, cuando a lo que se habría de tender es a una comunicación horizontal en el avance del proceso, llegándose a estudiar un sistema de tipo Kanban, sin embargo, ahora mismo todo se encuentra en un estado bastante primigenio como para abordar esta problemática.

Además, a la hora de implementar nuevas prácticas, esta comunicación también es demasiado vertical, lo que ralentiza el avance de su implementación. Esto no quiere decir que sean los operarios de planta los responsables de tomar las decisiones en tanto a cambios, pero que sí la comunicación de estos con el Jefe de Proyecto fuera más fluida. Al mismo tiempo, se detecta que el Jefe de Proyecto no tiene competencias para realizar los

⁹ Para una mayor comprensión de los problemas asociados a los tiempos, y la propuesta de medidas, acudir al Anexo V, pues en él se incluyen tiempos, que ayudan a clarificar esta problemática.

cambios que considere pertinentes, esto tiene sentido en una instalación en la que conviven muchas obras diferentes y se tiene que dotar de una uniformidad estructural, sin embargo, en esta instalación dedicada únicamente a la fabricación de un producto, sería interesante el desarrollo de nuevas formas de proceder, pudiendo llegar a ser incluso de extensión al resto de la empresa (adaptándolas) si se confirma su utilidad.

Por último, se quiere destacar la inclusión de “Los 5 porqués” que ha realizado la compañía. Esta práctica fue instaurada desde el inicio de la fabricación, cuando llegó la primera No Conformidad del cliente, de tal manera que se acaba trasladando al responsable de la operación en cuestión, las causas de su fallo, y se implementan medidas que van desde la explicación al empleado, hasta el establecimiento de procedimiento de comprobación.

6.5.ACTUACIÓN EN AJUSTE

La comprensión del proceso en general fue una ardua tarea, sin embargo, si se ha de señalar una actividad en la que todas las operaciones se entremezclan esa es Ajuste.

Con el objetivo de representar en los distintos diagramas la secuencia lógica, en cadena, que se habría de realizar en Silvota se empleó una técnica muy extendida en Lean Manufacturing, siendo esta la realización de un círculo en el suelo, y la permanencia en el mismo, observando y anotando todo lo que entra, sale y se desarrolla en el área de estudio.

Solo esta observación se prolongó durante dos semanas, lo que permitió comprobar que los mismos procesos eran realizados en distinto orden en función de quién fuera asignado para cada tarea.

Se detecta aquí una de las primeras acciones de mejora, consistente en la redacción de una secuencia lógica de montaje y desmontaje, y transmisión de la misma a los operarios.

Por otro lado, el tiempo invertido en la ejecución de determinadas operaciones variaba mucho en función de qué operario se encargaba de cada acción.

Se tiene aquí la segunda acción de mejora, consistente en la determinación de qué operarios realizan qué tareas. Sin embargo, la puesta en práctica de esta segunda acción

de mejora no es tan inmediata como la primera, siendo aquí donde entran en juego los tiempos. No se tarda lo mismo en ejecutar una operación u otra, y la carga de trabajo debe de ser repartida por igual entre los diferentes operarios, teniéndose en cuenta además los momentos de la producción en los que se realizarán las distintas operaciones. Además, se desconoce las habilidades personales de los operarios que van a trabajar en las nuevas instalaciones, pues a excepción de 2, el resto son nuevos y por tanto, están aprendiendo.

De forma simultánea al estudio de tiempos de Ajuste mostrado en el Anexo V, se pudieron determinar tres desperdicios claros: búsquedas de material, intercambio de material entre compañeros, movimientos excesivos de productos por las instalaciones y poco marcaje de los tiempos al no estar estas instalaciones acostumbradas a fabricación en serie. Se cree que estas son acciones fácilmente corregibles si se aplicase la metodología de las 5S.

Por ello, en primer lugar, se procederá a la organización. Se eliminarán los armarios portátiles que posee cada ajustador, en los cuales cada uno se hace responsable de su material, como machos de roscar, llave inglesa, disolvente... Este proceso lleva pareja una sustitución de estos armarios por un panel de herramientas común, donde habrá los útiles necesarios para ejecutar todo el proceso, estando estos clasificados de forma lógica en función su orden y frecuencia de uso, entrando así en juego la ordenación. Este panel fue desarrollado con la ayuda del Jefe de Ajuste, Jefe de Proyecto y Jefe de Producción.

Las máquinas adicionales a emplear, como son la trepanadora, con la que se llevarán a cabo los taladros de lateral izquierdo, y la roscadora hidráulica, con la que se roscarán, se dispondrán en una zona de almacenamiento anexa a su zona de utilización, y delimitada a tal efecto. De esta forma, los movimientos de personal para la búsqueda de maquinaria serán prácticamente eliminados.

La disminución del tamaño de las instalaciones y el nuevo Layout, hacen que los movimientos en planta que se tenían por el transporte de Beams, Laterales y Casquillos a cabina de metalizado, los cuales suponían una gran pérdida de tiempo, han sido notablemente reducidos.

Se establecerá además una breve rutina de limpieza al final de la jornada, en la que se verificará si los caballetes donde se apoyan las Beams y los soportes donde se sitúan los laterales, se encuentran debidamente protegidos. Además, se limpiará el suelo de los restos de material que queden en el mismo, y se ordenará lo dispuesto en la mesa de trabajo.

Es entonces cuando se llega a la estandarización y sus asociados. Otra de las acciones de mejora propuestas es la realización de unas breves charlas con los operarios en las que se les explique el proceso de fabricación de los skeletons, pues al intentar dotar de orden a las operaciones se detectó que no conocen los estadios anteriores y posteriores a su cometido, y se cree que esto es positivo para el establecimiento de un objetivo común y de una mentalidad de equipo que busca alcanzar una meta conjunta. Se pretende explicar además concretamente a los operarios de Ajuste el porqué de los procedimientos, de manera que cale la importancia de una correcta ejecución y que el proceso comience a estandarizarse. Se crean posters (de gran tamaño) con los aspectos más críticos de la producción en Ajuste, los cuales no deben de ser olvidados nunca. Dispuestos a modo de decálogo, con ejemplos de malas y buenas prácticas, han sido colgados en la pared a la vista de todos. Adicionalmente, se redacta una secuencia de montaje y de desmontaje para que todos los ajustadores la realicen de la misma forma, no teniendo que realizar maniobras complicadas con articuladas diésel, con la consiguiente pérdida de tiempo, para montar una pieza que debería de haber sido colocada con anterioridad. Se plantea, con un compromiso de realización futura, que el uso de la articulada diésel sea eliminado y sustituido mediante la instalación de unas plataformas elevadoras en la propia área de montaje. Adicionalmente, y tras detectarse la gran cantidad de pruebas de elevación que se hacen para transportar un lateral, se ha creado un plan de izado, el cual pretende reducir el tiempo empleado en esta tarea.

Se tiene pensado designar un responsable en cada turno encargado de supervisar que estos principios se cumplan. Además, el Jefe de Proyecto designará a alguien periódicamente para registrar el correcto cumplimiento de las directrices y la propuesta de nuevas acciones de mejora.

Finalmente, y debido al tardío desplazamiento del Proceso de Ajuste, no pudieron ser determinados los nuevos tiempos del proceso en esta área, sin embargo, se tiene pendiente su realización cuando la producción se estabilice.

6.6. ACTUACIÓN EN MECANIZADO

El Mecanizado de Laterales es el área más interesante para la aplicación de la metodología SMED, más si se tiene en cuenta que este es el cuello de botella del proceso.

Nuevamente se aplicó la técnica de observación en un círculo durante dos ciclos de mecanizado de laterales.

Debido a las circunstancias especiales esta observación fue realizada en el PEPA. Esto hace que los resultados obtenidos no sean válidos. La máquina que allí se empleaba llevaba siendo utilizada durante aproximadamente un año para el mecanizado de laterales y por tanto ya se había adquirido un ritmo de producción bastante invariable. Además, a diferencia de la nueva a instalar esta es de eje horizontal, y se desconoce cómo será la fijación a la mesa en la nueva. Por otro lado, la instalación de la nueva máquina se retrasó, no estando además los operarios familiarizados con la mecánica de la misma, es decir, se parte de cero en un nuevo lugar y con una nueva máquina.

La Dirección estima además que se tendrá una curva de aprendizaje del orden de los 4 meses hasta alcanzar una producción estable, de 5 laterales por semana, lo que se sale del alcance temporal de este proyecto.

Sin embargo, esta observación permitió detectar déficits y presentar en firme la necesidad de mejorar fundamentalmente el proceso de cambio de un lateral derecho a uno izquierdo y viceversa, ya que incluso después de un año, y con operarios expertos este cambio, duraba aproximadamente un turno de trabajo (7,5 horas) lo que hace que sea muy mejorable.

Entre los “waste” que pueden ser comunes se encuentra la falta de orden en la colocación del utillaje. Durante el futuro análisis además de anotar el orden de las operaciones se desea registrar las herramientas utilizadas, de tal forma que al igual que en Ajuste, se pueda crear un panel que facilite el desarrollo del proceso. También se destaca

una falta de limpieza en el lugar de trabajo, entendiéndose como tal que no se ponen en su lugar los distintos utillajes una vez usados si no que se espera a acabar el proceso, lo que origina que en ocasiones, no se encuentre lo que se está buscando, derivando eso en pérdidas de tiempo y necesidad de búsqueda a otras áreas del taller. Adicionalmente se señala que actividades que pueden ser desarrolladas mientras la máquina se tiene en funcionamiento (entendiéndose que el operario tiene que seguir vigilando el progreso) no se realizan, como puede ser la preparación del siguiente lateral o búsqueda y preparación de aquellos elementos que serán necesarios para la elevación, o aquellas máquinas que por su poco tiempo de empleo, sean de uso común para toda la instalación, y por tanto, no se encuentren justo al lado de la cabina.

Se comprende que al encontrarse en un periodo transitorio, la aplicación de esta metodología se retrase hasta alcanzar cierta estabilidad. No obstante, queda recogido que la realización de este estudio será un tema primordial a la hora de reducir la ventana de 24 horas de mecanizado de un lateral que se tiene ahora en el proceso. En definitiva, el margen de mejora es notable.

Así mismo, queda planteada la realización de un estudio de optimización del mecanizado. Al trabajar con grandes piezas de calderería, las cuales no son idénticas, y que además, el galvanizado provoca una liberación de tensiones en ellas dando lugar a una deformación, no será posible optimizar al 100% el mecanizado. Sin embargo, si se consigue determinar un intervalo de trabajo, es decir, la cantidad máxima y mínima de material que se habrá de arrancar en función de la cota a la que quede la superficie a mecanizar, sí que se podrán estimar los tiempos de cambio de herramienta y de filo, pues hablando con el personal de fábrica, se ha descubierto que debido a la operativa tradicional de proyecto único de la empresa, la práctica habitual es esperar a que las plaquitas rompan, con los efectos que eso puede tener sobre la pieza y la propia máquina.

Capítulo 7. Planificación y Horizonte temporal

En este capítulo se pretende detallar la programación temporal de las actividades del proyecto, con el objetivo de exponer las distintas tareas que se han realizado o acciones efectivamente implementadas y su duración en el tiempo que engloba este proyecto. Estos datos se recogen en la Tabla 7.1. Además, se presenta la Tabla 7.2 que pretende reflejar las fechas objetivo aquellas medidas a implantar o acciones a ejecutar mencionadas en esta propuesta, y que por la duración del proyecto, no han podido ser implementadas.

EDT	Nombre de Tarea	Comienzo	Fin
1	Estudio de herramientas lean	04/02/2019	08/02/2019
2	Estudio de documentación de la empresa	04/02/2019	15/02/2019
3	Estudio de conjunto	18/02/2019	05/03/2019
4	Estudio de detalle	18/02/2019	07/03/2019
5	Desarrollo provisional de diagramas	08/03/2019	22/03/2019
6	Layout (Toma de medidas, dibujo de planos)	20/03/2019	22/03/2019
7	Desarrollo final de diagramas (ordenador)	25/03/2019	17/04/2019
8	Generación de documentación para proceso (Tips de Ajuste, traducción de procedimientos, creación de estándares, elaboración de informes...)	25/03/2019	En curso
9	Redacción de proyecto	11/04/2019	20/05/2019
10	Revisión del proyecto	20/05/2019	03/06/2019

Tabla 7.1. División de tareas

Nombre de Tarea/Medida	Fecha objetivo
Asignación de tareas a ajustadores	17/06/2019
Lotes por fichas a proveedor mayoritario	Octubre 2019
Trazabilidad mediante códigos QR (al completo)	01/06/2019
Redimensionamiento de plantilla, y cambio en el reparto de fichas en Armado y Soldado	17/06/2019
Reducción de stock	Octubre 2019
Revisión de transportes. Estudio logístico.	Septiembre 2019
Simulación y planificación de movimientos en planta	Enero 2020
Negociación de términos con el cliente (montaje y desmontaje)	Diciembre 2019
Grupo Kaizen Ajuste	03/06/2019
Implantación de 5S en Ajuste	03/06/2019
Sustitución de articulada diésel por andamios fijos en montaje y desmontaje	31/05/2019
Medidas de tiempos en todas las áreas tras estabilización de la producción	Septiembre 2019
Aplicación de metodología SMED en mecanizado	Septiembre 2019
Optimización del corte en mecanizado	Enero 2020

Tabla 7.2. Objetivos de implantación.

Capítulo 8. Conclusiones

Este proyecto ejemplifica que la implementación de un sistema de Lean Manufacturing en una gran empresa, a pesar de poner el foco en una parte de la producción, es un proceso complejo. El desarrollo de la presente propuesta propicia la obtención de una serie de conclusiones:

- Se pudo resolver el problema encontrado con respecto a la falta de documentación e información. Para ello se crearon diagramas de flujo de proceso, así como diagramas IDEF 0 auxiliares, complementados con una herramienta Excel que lista recursos y reglas. Estos diagramas permitieron detectar actividades que podrían ser eliminadas o mejoradas.
- La realización del VSM, determinación de tiempos, y comparación con takt times, permitió encontrar deficiencias en tanto a la distribución del personal, así como una de las causas de generación de stock. Sentando al mismo tiempo las bases para la nivelación de la carga de trabajo de los distintos operarios.
- En relación con el punto anterior se ha detectado que el stock en planta esconde el hecho de que sobra personal, así como una necesidad de introducir un cambio de modelo productivo para lo cual será necesario actuar conjuntamente con el Jefe de Producción.
- El establecimiento de un grupo Kaizen para la búsqueda de explicaciones es una práctica sencilla de implantar, y muy útil a la hora de crear una responsabilidad conjunta entre los diferentes agentes implicados.
- Se ha generado documentación anteriormente inexistente, en lo relativo a procedimientos en diferentes áreas, lo cual se espera que mejore los tiempos y haga disminuir el número de No Conformidades remitidas por el cliente.
- Se ha detectado el origen de los fallos en el Layout proyectado que provocaron cambios en el finalmente implantado. Además, se ha recogido la distribución final en la nueva planta, y se están estudiando propuestas de modificación.

A pesar de los progresos, la falta de autoridad para implementar nuevas medidas por parte de los responsables directos de la producción (a saber, el Jefe de Proyecto), así como los hitos extraordinarios (incremento inesperado de la demanda y mudanza a nuevas instalaciones) han ralentizado la aplicación de medidas necesarias. Por ello queda pendiente:

- Aplicación de la metodología de las 5S en el área de Ajuste, para lo cual se ha elaborado un plan de implantación y seguimiento, actualmente en curso. En este plan se incluye la realización de charlas con los operarios las cuales les proporcionen un mayor conocimiento del proceso, introduciéndoles además en el universo Lean Manufacturing con el objetivo de conseguir un compromiso que permita el avance conjunto.
- Estudio SMED para reducción del tiempo invertido en el cambio de un lateral derecho a izquierdo y viceversa.
- Estudio de Mecanizado, para optimización del proceso de corte.
- Realización de un estudio de movimientos en planta. El análisis del proceso permitió determinar la gran importancia de los puentes grúa en el desplazamiento del producto por la nave. Debido a la escasez de estos y al tonelaje de los mismos se prevé que habrá problemas a este respecto.
- Estudio logístico. Debido a la estructura de la empresa queda pendiente a la espera de permiso para cambiar la sistemática.
- Planteamiento de un sistema Kanban una vez el conjunto de las instalaciones esté completamente operativo.
- Renegociación de términos con clientes y proveedores.
- Designación de un responsable de Lean Manufacturing, el cual tenga potestad para poner en marcha las actuaciones necesarias para mejorar el proceso.

En definitiva, se partía de unos objetivos muy ambiciosos que por las circunstancias y problemática encontrada solo han podido ser satisfechos parcialmente. No obstante, tal y como queda recogido por Bashin *et al.* [26], son necesarios en torno a tres años para el desarrollo de todas las herramientas y estandarización del trabajo, y cinco años para

interiorizar los principios por parte de la organización, por lo que es un proceso de largo recorrido.

Capítulo 9. Coste de realización de Proyecto

9.1.INTRODUCCIÓN

Nuevamente, y debido al momento de inicio del presente proyecto, no se puede presentar un presupuesto real de ejecución de las medidas propuestas. En este apartado se detallará por tanto un presupuesto de la fase de ingeniería de este proyecto. Se ha establecido una división en tres apartados: presupuesto de ingeniería, equipos informáticos y software, y otros conceptos. Por último, se muestra el presupuesto final.

9.2.DESGLOSE DE PARTIDAS

9.2.1.-Presupuesto de Ingeniería

Se incluyen tanto las horas de estudio y escritura de la documentación, como las horas de observación y entrevista en planta, así como el desarrollo de los diagramas.

Concepto	Horas totales [h]	Coste horario [€/h]	Coste total [€]
Estudio inicial de herramientas Lean	30	30	900
Estudio de documentación de la empresa	60	30	1800
Estudio de conjunto (proceso)	15	30	450
Estudio de detalle (operaciones)	72	30	2160
Layout: medición nave, desarrollo y realización de planos	24	30	720
Desarrollo de propuesta (VSM; generación de documentación)	162	30	4860
Redacción de proyecto	145	30	3150
Coste total [€]			14040

Tabla 9.1. Partida descompuesta: Presupuesto de Ingeniería.

9.2.2.-Equipos informáticos y software

Se incluyen tanto los costes de adquisición de los dispositivos informáticos empleados, como las licencias de los distintos programas. Dado que estos equipos y

programas se seguirán empleando en futuros trabajos, solo se computará el coste proporcional a la duración del proyecto, estimada en 5 meses. Se empleará amortización constante de los equipos a lo largo la vida útil de los mismos.

Concepto	Coste (€)	Tiempo de uso (años)	Tiempo de amortización (años)	Importe total (€)
Ordenador portátil	700	0,42	10	29,4
Windows 10 Professional	145	0,42	6	10,15
Microsoft Office 2016 Professional	255	0,42	6	17,85
Visio Profesional 2019	809	0,42	6	56,63
MS Project	849	0,42	6	59,43
Coste total (€)				173,46

Tabla 9.2. Partida descompuesta: Equipos informáticos y software.

9.2.3.-Otros conceptos

Se incluyen todos aquellos costes no considerados en apartados anteriores. No se incluye el precio de las consultas bibliográficas y otro material técnico al cual se accede al amparo de la suscripción corporativa de la Universidad de Oviedo a través distintas bases de datos, y cuyo coste se engloba dentro de los gastos generales.

Concepto	Dist. [km]	Días	Consumo medio (100 km)	Precio medio diésel [€/L]	Coste total [€]
Transporte	58	95	6,7	1,185	437,47
Concepto				Coste total [€]	
Papelería y material de oficina				30	

Tabla 9.3. Partida descompuesta: Otros conceptos.

9.3. COSTE DEL PROYECTO

Se incluyen en el presupuesto final la suma de todos los apartados anteriores, teniéndose en cuenta además, los siguientes aspectos:

- **Gastos generales:** Debidos a consumos eléctricos, gastos de personal administrativo y costes imprevistos que no se incluyen en la planificación. Se valoran en un 8% sobre el coste total bruto.
- **Beneficio industrial:** 10% sobre el coste total bruto.
- **I.V.A.:** 21% sobre el coste total sin impuestos.

Concepto	Coste [€]
Coste de ingeniería	14040
Coste equipos informáticos y software	173,46
Coste de otros conceptos	467,47
Coste total bruto	14680,93
Gastos generales (8%)	1174,47
Beneficio industrial (10%)	1468,09
Coste total sin impuestos	17323,49
I.V.A. (21%)	3637,93
COSTE TOTAL DEL PROYECTO	20961,43

Tabla 9.4. Presupuesto de proyecto.

El presupuesto del proyecto asciende a un total de **VEINTE MIL NOVECIENTOS SESENTA Y UN EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

Gijón, 3 de junio de 2019

Fdo.:

Capítulo 10. Bibliografía

- [1]. **Asturfeito S.A.** [En línea] [Citado el: 11 de Abril de 2019.]
<https://www.asturfeito.com/en/company>.
- [2]. **MHI Vestas Offshore Wind A/S.** [En línea] [Citado el: 13 de Abril de 2019.]
<http://www.mhivestasoffshore.com/about-mhi-vestas-offshore/>.
- [3]. **Asociación Empresarial Eólica.** *Anuario Eólico. La voz del sector.* 2019.
- [4]. *Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review.* **Alkhoraifa, A., Rashid, H., McLaughlin, P.** s.l. : Elsevier Ltd., Diciembre de 2018, Operations Research Perspectives. ISSN 2214-7160.
- [5]. **Panigua Anís, E. et al.** *La Gestión Tecnológica del Conocimiento.* Primera. Murcia : EdiTum (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia), 2007. pág. 321. ISBN 978-84-8371-661-8.
- [6]. *Concepto, tipos y dimensiones del conocimiento.* **Segarra Ciprés, M., Bou Llusar J.C.** 52-53, Logroño : s.n., 2005, Revista de Economía y Empresa, Vol. 22, págs. 175-196. ISSN 0213-2834.
- [7]. *La Gestión del Conocimiento en la Cadena de Suministro: Análisis de la Influencia del Contexto Organizativo.* **Capo Vicedo, J., Tomas Miquel, J. V. y Expósito Langa, M.** Alcoy : s.n., 2007, Vol. 18, págs. 127-136.
- [8]. *Computer-Integrated Manufacturing, Cyber-Physical Systems.* **Yu, C., Xu, X. y Lu, Y.** s.l. : Elsevier Ltd., Octubre de 2015, Manufacturing Letters, Vol. 6, págs. 5-9. ISSN 2213-8463.
- [9]. *Modelado de Procesos Utilizando la Técnica IDEFO.* **A.G., Alexander.** 2017, Eficiencia Gerencial y Productividad S.A.C.
- [10]. *Create a Lean, mean machine.* **G, Alukal.** 4, s.l. : American Society For Quality, Quality Progress, Vol. 36, págs. 29-35.

- [11]. **Liker, J.K.** *The Toyota Way*. Primera. Maidenhead : McGraw-Hill Education - Europe, 2004. pág. 352. ISBN10:0071392319.
- [12]. *Principios del Toyota Way*. **García Linares, L.** Gijón : s.n., 12 de Abril 2019.
- [13]. **Rother, M. y Shook, J.** *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. s.l. : Lean Enterprise Institute, 2003. pág. 111. ISBN 0-9667843.
- [14]. **Cuatrecasas, L.** *Reflexiones en Lean. Comprender e implantar el Lean Management*. s.l. : Instituto Lean Management. ISBN 978-84-615-1539-4.
- [15]. **Salazar López, B.** Ingeniería Industrial Online.com. [En línea] [Citado el: 25 de Abril de 2019.] <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/>.
- [16]. **Shingo, S.** *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. s.l. : Productivity Inc, 1985. ISBN 0-915299-03-8.
- [17]. *Step for implementation of 5S*. **Kaushik, K. y Sanjeev, K.** 6, Junio de 2012, International Journal of Management, IT and Engineering, Vol. 2, págs. 402-416. ISSN 2249-0558.
- [18]. *Mirages of Lean Manufacturing in Practice*. **Wyrwicka, M. K. y Mrugalska, B.** [ed.] Elsevier Ltd. 2017, Procedia Engineering, Vol. 182, págs. 780-785. ISSN 1877-7058.
- [19]. *Literature review of material flow control mechanisms*. **J., Graves R. y Konopka, J.M. & Milne, R. J.** 5, 1995, Production Planning & Control, Vol. 6, págs. 395-403.
- [20]. *Variations of the kanban system: Literature review and classification*. **Lage Jr, M. & Godinho Filho, M.** 1, s.l. : Elsevier Ltd., Mayo de 2010, International Journal of Production Economics, Vol. 125, págs. 13-21. ISSN 0925-5273.
- [21]. **Kiran, D.R.** *Total Quality Management: Key Concepts and Case Studies*. s.l. : Butterworth-Heinemann (Elsevier Ltd.), 2017. págs. 313-332. ISBN 978-0-12-811035-5.

- [22]. *KBE rules oriented to resources management in coordinates*. **Martínez-Pelliteroa, S., J. Barreiro y Cuesta, E. & Fernández-Abia, A.I.** 1, s.l. : Elsevier Ltd., 2015, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 37, págs. 149-163. ISSN 0278-6125.
- [23]. *Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system*. **Sugimori, Y., Kusunoki, K. y Cho, F. & Uchikawa, S.** 6, 1977, International Journal of Production Research, Vol. 15, págs. 553-564. ISSN: 0020-7543.
- [24]. *A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)*. **Garza-Reyes, J.A., y otros.** 2018, Journal of Cleaner Production, Vol. 180, págs. 335-348. ISSN 0959-6526.
- [25]. **Womack, J. P., y otros.** *La máquina que cambió el mundo*. Madrid : McGraw-Hill, 1992.
- [26]. *Lean viewed as a philosophy*. **Bashin, S. & Burcher, P.** 1, 2006, Journal of Manufacturing Technology, Vol. 17, págs. 56-72.