

Universidad Nacional de Córdoba



Facultad de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

Escuela de Ingeniería Industrial



Lean Manufacturing Aplicado al Armado de Partes Móviles en la Industria Automotriz

Autor:

DEL TORO, Franco DNI 37.487.375

Tutor:

Ing. FUNES, Raúl Néstor

CÓRDOBA, Marzo 2017

Dedicatoria

Agradecer más que nada a mis padres, que me han apoyado tanto a lo largo de la carrera para lograr este objetivo y seguir adelante tomando nuevos caminos.

A todos los docentes, que me han enseñado todos estos años y brindado dedicación para formarnos como ingenieros.

A todos mis compañeros de trabajo, por la información y datos necesarios que brindaron para realizar este proyecto.

Finalmente a mis amigos y familiares que me dan felicidad todos los días.

Resumen

El presente estudio busca analizar la mejor alternativa de producción de partes móviles de carrocería de vehículos (puertas, capot y baúl) en la industria automotriz, aplicando las herramientas Lean Manufacturing. Partiendo de la base de que en una terminal automotriz, se fabrican generalmente distintas variedades de vehículos, se plantean dos tipos de producción según diversidad: JIT o por lote (ráfaga).

Por lo tanto, este Proyecto Integrador tiene como objeto diseñar y estudiar una isla de producción de partes móviles flexible en la planta de soldadura, donde se producen todos los modelos; y compararlo con islas independientes de fabricación donde se producen cada una de las partes móviles en serie. Los principales puntos que se abarcan son: balanceo de operarios, análisis de proceso y tiempo ciclo, abastecimiento logístico, cálculo stock intermedio, control de calidad, implantación y simulación.

Se desarrolla inicialmente el marco teórico de todas las herramientas Lean y una descripción generalizada de lo que es una terminal automotriz para poder entender el contexto del proyecto. Luego se toma la base teórica de una isla de armado de partes móviles y se separa en los dos tipos de producción, para luego implementar herramientas Lean y tornar eficiente las operaciones. Se estudia en profundidad las opciones de implantación junto con las restricciones y limitaciones preestablecidas. Se realiza el análisis del proceso, los balanceos de línea y cálculo del stock intermedio. Finalmente, el estudio económico es de gran relevancia ya que en definitiva nos dice cuál de las dos alternativas es más rentable para distintas cadencias de producción.

Abstract

This study seeks to analyze the best alternative mobile production vehicle parts in the automotive industry, applying the Lean Manufacturing tools. Assuming that in an automotive terminal, are generally made different varieties of vehicles, two types of production according diversity arise: JIT or batch (burst).

Therefore, this final project aims to design and explore a flexible island of only doors assembly in the welding area, where all models are produced; and compare with independent islands where single doors are made. The main points covered are: balancing operators, process analysis and cycle time, supply chain, buffer calculation stock, quality control, layout and simulation.

The theoretical framework of all Lean tools and a general description of what an automotive terminal in order to understand the context of the project was initially developed. Then take the theoretical basis of a moving parts production island and separate into two types of production ways, then implement Lean tools and render efficient operations. Layout options, restrictions and limitations preset are studied in depth. Process analysis, line balancing and buffer stock calculation are performed. Finally, the economic study is of great importance because ultimately tells us which of the two alternatives is more profitable for different production rates.

Índice

Dedicatoria.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice.....	V
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Objetivos Generales y Particulares.....	2
1.2 Metodología y organización del trabajo.....	3
1.3 Restricciones y limitaciones	4
Capítulo 2. Marco Teórico LEAN MANUFACTURING.....	6
2.1 Definición “Lean”	6
2.2 Herramientas Lean Manufacturing TPS.....	10
2.2.1 5S	10
2.2.2 Mantenimiento Productivo Total TPM.....	11
2.2.3 SMED	12
2.2.4 Kanban.....	14
2.2.5 Estandarización.....	15
2.2.6 Heijunka. Producción Nivelada.....	16
2.2.7 Jidoka, Automatización con un toque humano.....	18
2.2.8 JIT. Sistema Justo a Tiempo	19
Capítulo 3. Desarrollo Industria Automotriz	22
3.1 Síntesis Terminal Automotriz	22
3.2 Planta de Soldadura.....	23
3.3 Partes Móviles	31
3.4 Ejemplos de Plantas.....	38
Capítulo 4. Armado de Partes Móviles.....	40
4.1 Demanda y volúmenes de producción	40
4.1.1 Estudio producción mundial.....	40
4.1.2 Selección de rangos de producción y escalones	43
4.1.3 Mix de producción.....	44
4.1.4 Tiempos y cadencias.....	45
4.2 Métodos de fabricación.....	46
4.2.1 Islas independientes.....	47

4.2.2	Islas flexibles.....	49
4.3	VSM. Proceso tradicional y futuro con mejoras.....	55
4.3.1	VSM de proceso tradicional ' <i>push</i> '.....	55
4.3.2	VSM Ideal con mejoras.....	56
4.4	Estudio de tiempos.....	59
4.4.1	Método MTM y tablas de tiempos.....	60
4.4.2	Operaciones manuales.....	60
4.4.3	SMED e intercambio de dispositivo.....	69
4.4.4	Operación robotizada.....	73
4.4.5	Isla de secuenciado y stock intermedio.....	79
4.5	Diseño de las islas de armado de PM.....	80
4.5.1	Balanceo islas independientes.....	81
4.5.2	Balanceo isla flexible.....	88
Capítulo 5.	Estudio económico y financiero.....	92
5.1	Análisis de comparación.....	92
5.2	Cotizaciones. Estructura de costos e inversiones.....	94
5.2.1	Isla Independiente.....	95
5.2.2	Isla Flexible.....	97
5.2.3	Pérdida por inventario.....	98
5.3	Flujo de Fondos.....	100
Capítulo 6.	Conclusiones.....	102
	Bibliografía.....	104
	Anexo 1. Tablas CTS de tiempos.....	105
	Anexo 2. Implantaciones.....	108
	Anexo 3. Flujo de fondos.....	119
	Anexo 4. Robot ABB.....	123

Capítulo 1. Introducción

El siguiente Proyecto Integrador, se centra en la industria automotriz en donde permanentemente se está buscando perfeccionar los procesos productivos para disminuir los costos y de esta manera aumentar el margen de ganancia y ser más competitivos en el mercado. Por otro lado se busca siempre la satisfacción del cliente y por lo tanto eliminar todo aquél NVA (no valor agregado) del proceso que el propio consumidor no está dispuesto a pagar. Para esto se debe enfocar la calidad en el proceso, y principalmente destinar todos los esfuerzos para eliminar los desperdicios.

Esta industria sin dudas ha logrado desarrollar filosofías de trabajo que han permitido evolucionar estos paradigmas, siempre en busca de la mejora continua. Las técnicas de organización de la producción surgen a principios del siglo XX con los trabajos realizados por F.W. Taylor y Henry Ford, que formalizan y metodizan los conceptos de fabricación en serie que habían empezado a ser aplicados a finales del siglo XIX. Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación de método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos. Posteriormente Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación de automóviles en donde hizo un uso intensivo de la normalización de los productos, la utilización de máquinas para tareas elementales, la simplificación y secuenciación de tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada. En ambos casos se tratan conjuntos de acciones y técnicas que buscan una nueva forma de organización y que surgen y evolucionan en una época en donde era posible la producción rígida en masa de grandes cantidades de producto.

Sin embargo la ruptura con estas técnicas se produce en Japón, en donde se encuentra el primer germen con el pensamiento Lean. El reto para los japoneses era lograr beneficios de productividad sin recurrir a economías de escala. Comenzaron a estudiar los métodos de producción de Estados Unidos, con especial atención a las prácticas productivas de Ford, al control estadístico de procesos desarrollado por W. Shewart, a las técnicas de calidad de Edwards Deming y Joseph Juran, junto con las desarrolladas en el propio Japón por Kaoru Ishikawa. Precisamente, en ese entorno de supervivencia de posguerra, la compañía Toyota fue la que aplicó más intensivamente la búsqueda de nuevas alternativas “prácticas”. A partir de estas reflexiones, Taiichi Ohno estableció las bases del nuevo sistema de gestión JIT/Just in Time (*Justo a tiempo*), también conocido como TPS (*Toyota Production System*). El sistema formulaba un principio muy simple: “producir solo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita”.

Recién en la década de los 90, con el libro “La máquina que cambió el mundo” de Womack, Jones y Roos, fue que el mundo occidental realmente conoció la filosofía de trabajo japonesa, y principalmente la de Toyota. A partir de allí se le denominó *Lean Manufacturing*, para simplificar esa idea y poder agilizar la difusión de esta nueva metodología de trabajo. Sin embargo, Juan Hernández Matías (2013) es quien define *Lean* de la siguiente forma:

“El secreto no está en el nombre de la filosofía sino en la actitud, persistente en el tiempo, de perseguir e implementar acciones de mejora y eliminación de actividades de valor añadido, con pleno apoyo de la dirección y de empleados, adaptadas a las circunstancias específicas de cada empresa, para el incremento de la productividad, la reducción de plazos de entrega, el aumento de la calidad y la reducción de costes”

Las terminales automotrices occidentales han tomado sus herramientas y principios para mejorar sus fábricas, siguiendo los pilares del modelo Lean y asimilándolos al WCM (*World Class Manufacturing*) e inculcando la mejora continua en sus empleados.

Lean Manufacturing es una filosofía de trabajo, basada en las personas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, definidos éstos como aquellos procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesarios.

De esta forma, tomando como base esta filosofía, se implementará para diagnosticar, identificar, y definir las líneas de acción puntualmente en plantas de soldadura (chapistería) donde el nivel de complejidad de los procesos son elevados, ya que contiene una gran variedad de subconjuntos y el propio proceso de soldadura lo condiciona.

1.1 Objetivos Generales y Particulares

El objetivo principal de este trabajo es implementar la filosofía *Lean* utilizando sus herramientas y definir el tipo de fabricación más conveniente para las partes móviles de distintos modelos en una planta automotriz. Se busca realizar un balance de las alternativas, para marcar las diferencias de las posturas teóricas con la práctica en el terreno.

Los objetivos específicos que se persiguen en este proyecto son:

- Comparar y definir los dos tipos de producción: JIT y por lote (ráfaga).
- Estudiar y definir el proceso entero de fabricación de partes móviles.
- Realizar el diseño de la implantación de la isla de armado.
- Analizar y fijar el balanceo de tiempos de la línea.
- Efectuar simulaciones del proceso de producción y determinar el stock y logística de los puestos.

- Elaborar un estudio económico y financiero para concretar cuál de las alternativas es la más propicia.

1.2 Metodología y organización del trabajo

En este PI (*Proyecto Integrador*), se han utilizado básicamente cuatro herramientas fundamentales para llevarlo a cabo.

Primero, ante todo, se toma como punto de partida la ideología Lean Manufacturing, y se utilizan las herramientas propuestas por Madariaga (2013) y Hernández e Idoipe (2013) para desarrollar gran parte del trabajo. De esta forma, se logra formalizar las ideas y aplicarlas con una metodología de trabajo confiable y respaldada por profesionales que tienen experiencia en el rubro.

Además de la filosofía Lean, tenemos que entender el concepto amplio que esto abarca, es por tal motivo que se incorpora el WCM de Schonberger (1986) como pilar fundamental que sostiene todo lo que posteriormente surgió. Él es quien retransmite las bases del TPM (*Total Productive Maintenance*), TQM (*Total Quality Management*) y JIT (*Just In Time*) que los japoneses iniciaron, y así poder aplicar con eficiencia las demás herramientas en el mundo occidental.

Para la formulación y evaluación económica del proyecto, se utilizó como guía los pasos de Sapag Chain (2008), para analizar la factibilidad económica-financiera entre los dos tipos de enfoque de producción y finalmente elegir la más rentable. Estudiando los costos de mano de obra, inventarios, logística, energía, materia prima, insumos, inversiones iniciales, depreciaciones y amortizaciones, es posible realizar una aproximación confiable de la realidad, y obtener indicadores precisos tales como VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno) para respaldar la decisión.

Por último, se utilizaron los elementos de la dirección de producción y operaciones tanto de Heizer y Render (2006) como de Machuca (1995), para realizar los estudios de tiempo y balanceos, planificación de la producción, Kan Ban, Teoría de las Restricciones (TOC) y JIT.

Habiendo definido los pilares con los que se irá a trabajar en este proyecto, se describe a continuación las distintas etapas del PI con sus respectivos capítulos:

- Capítulo 2: se define el marco teórico en torno a Lean Manufacturing y sus herramientas, además de desarrollar los conceptos necesarios para entender el objetivo del trabajo.
- Capítulo 3: describe a la industria automotriz desde una visión macro para localizar el proyecto en el entorno en el cual se desarrolla. Primero se realiza una presentación general de lo que implica una terminal automotriz con sus

partes que la conforman. Posteriormente se explica lo que es una planta de soldadura y luego se enfoca puntualmente en las partes móviles, donde se plantean características, tipos, índices, bases teóricas y el proceso de fabricación en sí. Por último, se exponen ejemplos de islas de armado de partes móviles de diversas terminales y marcas, evidenciando sus puntos positivos y negativos.

- Capítulo 4: se desarrolla, propiamente dicho, el estudio de las islas de armado de puertas aplicando las herramientas Lean y planteando las posibles opciones de producción. Se efectúa el diseño de implantación, los balanceos de línea, análisis VSM (*Value Stream Mapping*) o Mapa de Cadena de Valor y logístico. Se obtienen resultados de tiempos, producción, stock intermedio y logístico, que serán utilizados en el estudio económico.
- Capítulo 5: presenta un estudio económico-financiero de las opciones que se propusieron para fabricar puertas, seguidamente, se plantean las comparaciones de los resultados, y se concluye en la elección de la opción apropiada.
- Capítulo 6: finalmente, se presentan las principales conclusiones de este trabajo en base a los resultados obtenidos.

1.3 Restricciones y limitaciones

Las principales restricciones que se tuvieron en este PI, fueron básicamente aquellas ligadas a la simplificación del estudio, ya que si no se definen límites o pautas, la extensión del trabajo puede llegar a ser demasiado extensa.

Por un lado, se elabora un estudio general sin limitarse a una terminal automotriz específica, es decir, se confecciona un trabajo sobre el armado de partes móviles genérica, debido a la gran similitud de los procesos entre fabricantes. De este modo, se puede englobar las tareas específicas en operaciones sencillas y facilitar los cálculos. Una vez obtenido los resultados, se pueden extrapolar a situaciones y necesidades puntuales para alguna terminal en particular.

Las partes móviles, como se verá en el próximo capítulo, constan de 6 (seis) subconjuntos: Capot, Puertas delanteras/traseras y Tapa de baúl o Portón de cola. Es por tal motivo, que se decide efectuar el análisis al conjunto de piezas sin distinción, ya que los procesos son los mismos, solo cambia la forma de la pieza y mínimamente la logística. Así, en el momento de realizar el estudio económico solo queda multiplicar por 6 las variables de costos y obtener el resultado global de la isla.

La estimación de inversiones será aproximada a la realidad, ya que no responden a cotizaciones reales, debido a la inviabilidad de obtener información de los proveedores de maquinaria tales como dispositivos de geometría para soldar piezas, robots, mesas intercambiables, pinzas de soldar, y otros medios específicos para este rubro.

Por el lado de la producción, tenemos dos puntos clave a definir: el volumen de producción 'Px' y la diversidad de modelos. Es imprescindible restringir ambas variables, de lo contrario habría infinitas combinaciones y no se llegaría a ninguna conclusión. Es importante destacar el rol de la Px en el objetivo del PI, para comprender que el fin último es encontrar los rangos/valores de Px para los cuales la producción en ráfaga es mejor que en serie y vice-versa. Por lo tanto, se eligen varios volúmenes de producción, que se desarrollarán más adelante, para poder trazar curvas de costos e inversiones y poder interpolar.

La diversidad de modelos se delimita a 4 (cuatro) vehículos sedan y/o '*hatchback*' indistintamente. La decisión de la cantidad se debe, por un lado a que no podría ser menos de 2, ya que no habría diversidad, y por el otro a que una terminal común en el mundo produce alrededor de 4 modelos.

Finalmente, las restricciones tecnológicas y de proceso se plantearán en los capítulos siguientes, debido a que es necesario profundizar en el tema.

Capítulo 2. Marco Teórico LEAN MANUFACTURING

2.1 Definición “Lean”

El Lean Manufacturing, es un nuevo modelo de organización y gestión del sistema de fabricación, que persigue la mejor calidad, el menor *lead time* y el menor coste mediante la eliminación continua del despilfarro.

La cultura Lean no es algo que tenga inicio y fin, es algo que debe tratarse como una transformación cultural para que sea duradera y sostenible, es un conjunto de técnicas centradas en el valor añadido y en las personas.

Se puede decir que es un conjunto de herramientas interrelacionadas, que tienen como meta principal obtener altos niveles de eficiencia en los procesos productivos de una fábrica y a la vez, acciones eficaces que ataquen los problemas de raíz.

Para esquematizar las técnicas que se utilizan en esta metodología, se recurre a la “Casa del Sistema de Producción Toyota” (Figura 2.1), donde el techo está conformado por todas las metas perseguidas que planteamos anteriormente. Estos objetivos se sustentan sobre dos pilares: JIT y *Jidoka* (autonomación), a la vez estos se apoyan sobre tres bases: Estabilidad, Estandarización y *Heijunka*¹. Finalmente los cimientos de esta casa son el liderazgo, el respeto, la confianza y la cooperación, factores esenciales para una implementación exitosa.

Los cambios que se plantean consisten en analizar y medir la eficiencia y productividad de todos los procesos en términos de “valor añadido” y “despilfarro”. Un proceso industrial añade valor (VA) únicamente durante el tiempo en el que modifica la forma o las propiedades del producto para lograr los requisitos que el cliente valora, en cambio el despilfarro, es cualquier actividad que consume recursos (aumenta el costo) y no añade valor (NVA) para el cliente. Fue así como de la observación directa de los hechos en el *gemba*², Taiichi Ohno identificó **siete despilfarros** (*muda*), (Madariaga, 2013):

- **Sobreproducción**: producir por adelantado, producir más de lo que actualmente necesitan los procesos siguientes o el cliente. Genera exceso de inventario, movimientos innecesarios de materiales y operarios, oculta los defectos. Es el peor de los desperdicios.

¹ Producción nivelada

² Palabra japonesa que significa “el lugar real/verdadero de la fábrica donde se crea valor”.

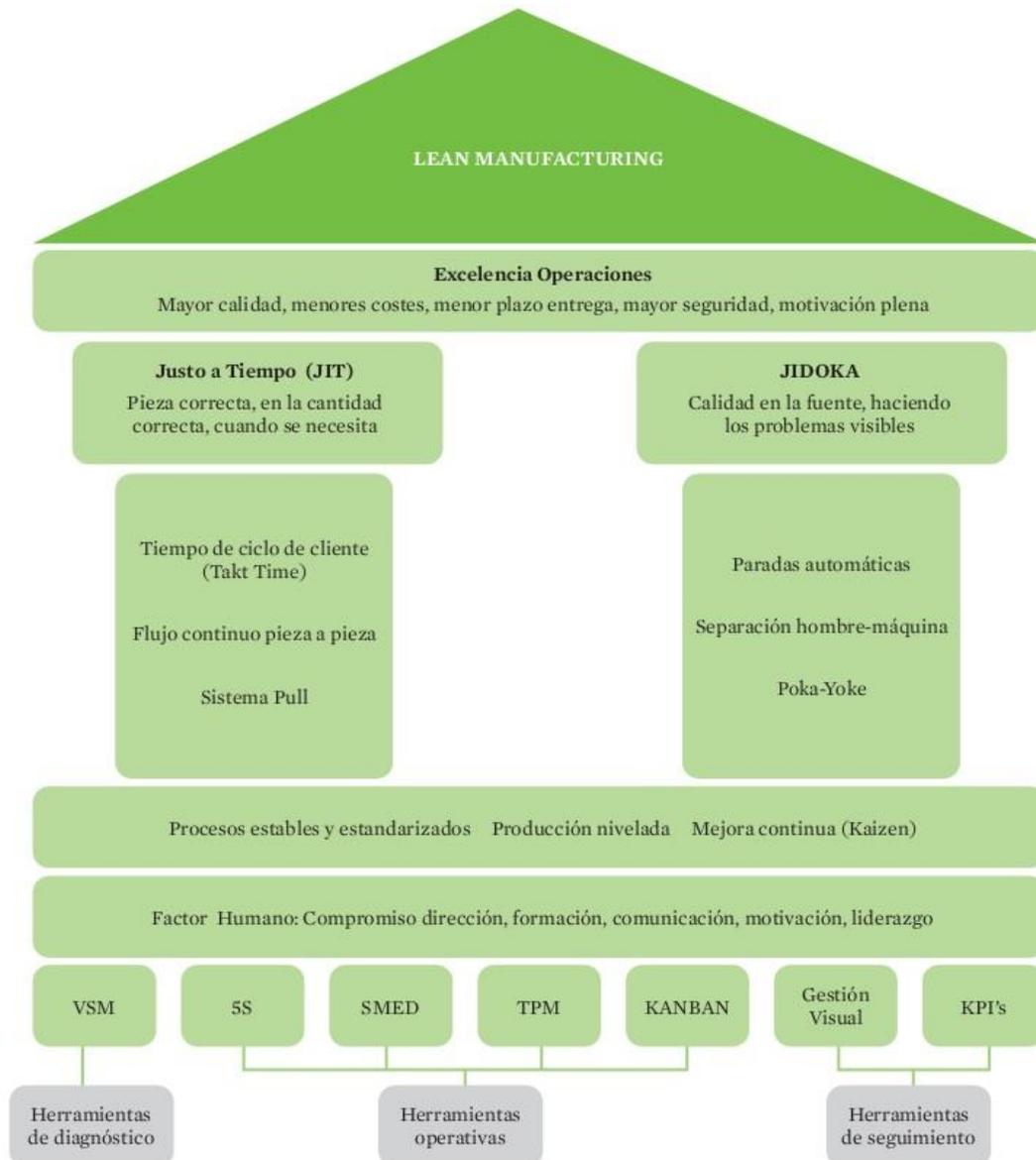


Figura 2.1 - Casa del Lean Manufacturing y TPS (Hernández e Idoipe, 2013)

- **Esperas:** el tiempo inactivo, el almacenamiento y las esperas son desperdicios (no añaden valor).
- **Transporte innecesario:** el traslado de materiales entre plantas, entre centros de trabajo (secciones), y manipular el material.
- **Inventarios:** las materias primas, el trabajo en curso (WIP), los productos acabados innecesarios y un exceso de suministros para las operaciones no añaden valor.
- **Movimiento:** el movimiento de equipos o personas en exceso e innecesarios causados por un layout deficiente, producción en lote y operaciones no estandarizadas.
- **Exceso de proceso:** el trabajo realizado en un producto que no añade valor y el cliente no aprecia.

- **Productos defectuosos:** las devoluciones, los reclamos por garantía, los trabajos de corrección de errores y los desechos.

En la siguiente figura (2.2), se puede ver como el VA representa un pequeño porcentaje del costo total de fabricación, y las grandes pérdidas que ocasiona el NVA al no eliminar los desperdicios. Es clave entender que se deben direccionar los esfuerzos para minimizar el NVA, más que en optimizar las operaciones que agregan valor.



Figura 2.2 – Composición de los costos de producción - NVA y VA

Por otro lado, es primordial eliminar los desperdicios desde el inicio de la fabricación, por ello se implementan las **3P** (Proceso de **P**reparación de la **P**roducción) que busca satisfacer las necesidades del cliente desde la fase inicial del desarrollo de los productos, con el fin de diseñar productos y procesos lean que requieran menos recursos de tiempo, materiales, y de capital, y así ahorrarse considerables trabajos futuros. Para diagnosticar los problemas se utiliza el Diagrama de Causa-Efecto (*Ishikawa*) donde se vinculan las **4M** presentes en la figura 2.3, debido a que son las cuatro causas que pueden originar un problema o error en un proceso.



Figura 2.3 – Diagrama de Ishikawa y las 4M

Cabe resaltar, la necesidad de incluir en el centro de la casa Lean el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), herramienta fundamental para la mejora continua, desarrollado por Shewhart (1924) donde el foco del control de calidad pasó del producto al proceso.

Las etapas del Ciclo se explican a continuación (Beale, 2013):

- **Planificar (P):** formular un Plan sobre cómo proceder en base a la definición de objetivos medibles, recolección de datos, etc.
- **Hacer (D):** llevar a la práctica las acciones definidas en el plan de acción definido.
- **Controlar (C):** verificar si se ha alcanzado el objetivo a través de la medición de los resultados obtenidos.
- **Actuar (A):** trabajar en función de los resultados obtenidos. Si se alcanzó el objetivo, se deben estandarizar las acciones. Sino, se deben redefinir las acciones para lograrlo.

Mura, Muri y Muda

Luego de haber definido claramente el desperdicio como el tema central de Lean, el TPS distingue dos situaciones en la fábrica, *mura* y *muri*, que generan despilfarro (*muda*). El '*Mura*' es la variación en los procesos productivos, nos obliga a sobredimensionar los recursos (personas, equipos y materiales) para la situación más desfavorable o a sobrecargar los recursos existentes.

El '*Muri*' es la sobrecarga de personas y/o máquinas. La sobrecarga de las máquinas genera averías y defectos y la sobrecarga de las personas genera problemas de seguridad y calidad. En la figura 2.4 se puede entender la diferencia entre las tres situaciones:

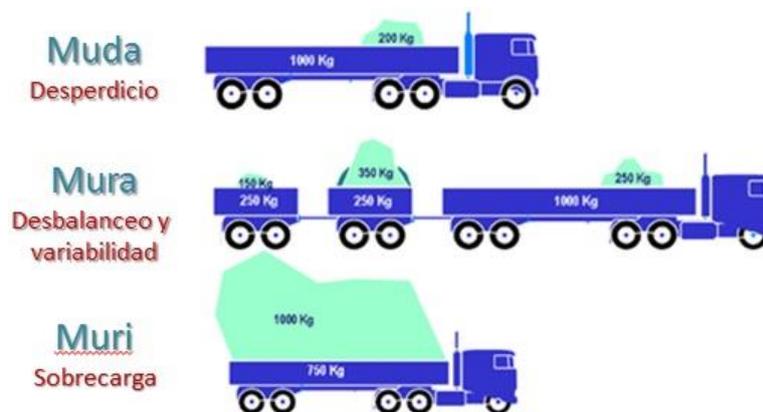


Figura 2.4 – Ejemplos de muda-mura-muri.

El alto nivel de inventario en los procesos, es indiscutiblemente el mayor causante de desperdicios, pero seguido a este, se encuentra la variabilidad de los procesos que genera altas tasas de deficiencia, ya que no se logra aprovechar al máximo los medios, tanto máquina como mano de obra.

Terminando con los conceptos, se plantea la Ley de Little, la cual relaciona 3 importantes variables: $Inventory = Cadencia\ de\ producción \times Lead\ Time^1$

¹ *Lead time de fabricación:* es el tiempo que transcurre desde la llegada a la fábrica de la materia prima de un producto hasta que éste, una vez terminado, es expedido.

2.2 Herramientas Lean Manufacturing TPS

Habiendo definido las bases y estructurado la metodología mediante la casa Lean, se desarrollan a continuación de forma breve las herramientas que serán utilizadas en este proyecto. Se parte desde los cimientos y la estabilidad (5S, SMED, etc.) hasta llegar al JIT que será profundizado. Para todas las herramientas nos basaremos en Madariaga (2013) y Hernández e Idoipe (2013).

2.2.1 5S

La herramienta 5S se corresponde con la aplicación sistemática de los principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo que, de una manera menos formal y metodológica, ya existían dentro de los conceptos clásicos de organización de los medios de producción. El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramientas y cuya fonética empieza por “S”: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito. En el siguiente cuadro 2.1, se resumen las funciones de las 5S:

	<i>Descripción</i>
Eliminar (Seiri)	Consiste en separar lo que se necesita de lo que no y controlar el flujo de cosas para evitar estorbos y elementos prescindibles que originen despilfarros como el incremento de manipulaciones y transportes, pérdida de tiempo en localizar cosas, elementos o materiales obsoletos, falta de espacio, etc.
Ordenar (Seiton)	Consiste en organizar los elementos clasificados como necesarios, de manera que se encuentren con facilidad, definir su lugar de ubicación identificándolo para facilitar su búsqueda y el retorno a su posición inicial.
Limpieza e inspección (Seiso)	Implica limpiar e inspeccionar el entorno para identificar los defectos y eliminarlos, es decir anticiparse para prevenir defectos. La limpieza es el primer tipo de inspección que se hace de los equipos, de ahí su gran importancia.
Estandarizar (Seiketsu)	La fase de seiketsu permite consolidar las metas una vez asumidas las tres primeras “S”, porque sistematizar lo conseguido asegura unos efectos perdurables. Estandarizar supone seguir un método para ejecutar un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean factores fundamentales.
Disciplina (Shitsuke)	Su objetivo es convertir en hábito la utilización de los métodos estandarizados y aceptar la aplicación normalizada. Su aplicación está ligada al desarrollo de una cultura de autodisciplina para hacer perdurable el proyecto de las 5S.

Cuadro 2.1 – Las 5S

2.2.2 Mantenimiento Productivo Total TPM

El TPM tiene por objetivo maximizar la eficiencia global de los equipos productivos, el OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), y optimizar el costo en que incurren durante todo su ciclo de vida (LCC, *Life Cycle Cost*), para ello involucra a todos los departamentos de la empresa.

El Mantenimiento Productivo Total se basa en cinco pilares:

1. La implantación de un sistema de mejora del OEE mediante la eliminación de las «pérdidas».
2. La implantación de un programa de “mantenimiento autónomo” llevado a cabo por los operarios de producción.
3. La implantación de un programa de “mantenimiento planificado” (preventivo y predictivo) llevado a cabo por el personal de mantenimiento.
4. El establecimiento de un proceso sistemático de «prevención del mantenimiento» en la fase de diseño de los nuevos equipos para minimizar las necesidades y el costo de su mantenimiento, mediante el feedback a la ingeniería de diseño, sobre los puntos débiles de los equipos que actualmente se están utilizando. Una parte muy importante del costo en que incurren los equipos durante todo su ciclo de vida viene determinada por el diseño.
5. La implantación de planes de formación y entrenamiento para mejorar las capacidades del personal de producción y mantenimiento.

Eficiencia Global del Equipo (OEE)

OEE es un indicador que se calcula diariamente para un equipo o grupos de máquinas y establece la comparación entre el número de piezas que podrían haberse producido, y las unidades sin defectos que realmente se han producido, es decir, la relación entre el tiempo efectivo y el planificado. Para la utilización de este indicador, se utilizan los índices de Disponibilidad, Eficiencia y Calidad. OEE es el producto de estos tres índices, de manera que:

$$OEE = D \times E \times C$$

El coeficiente de disponibilidad (D) es la fracción de tiempo que el equipo está operando realmente reflejando las pérdidas por averías y paradas. Para su cálculo se parte del tiempo disponible, también llamado tiempo de carga, que es el tiempo total de operación menos el tiempo muerto, planificado o necesario, tal como la interrupción del programa de producción, tiempos de descanso y reuniones diarias de taller. El tiempo operativo es el tiempo de carga menos el tiempo que la máquina está parada debido a averías, preparaciones, ajustes, cambio de técnicas y otras paradas.

El coeficiente de eficiencia (E) mide el nivel de funcionamiento del equipo contemplando las pérdidas por tiempos muertos, paradas menores y pérdidas por una velocidad operativa más baja que la de diseño.

Por último, el coeficiente de calidad (C) mide la fracción de la producción obtenida que cumple los estándares de calidad reflejando aquella parte del tiempo empleada en la producción de piezas defectuosas o con errores.



Figura 2.5 - Descomposición de los tiempos de fabricación (OEE)

El mantenimiento autónomo, el pilar más importante del TPM, es una metodología que aporta estabilidad al sistema de producción y se integra perfectamente en el Lean Manufacturing. Mediante las tareas diarias del mantenimiento autónomo (limpiar, inspeccionar, mantener los aprietes y lubricar), los operarios detectan situaciones anómalas, evitan la entrada del equipo en deterioro acelerado, reducen la frecuencia y gravedad de las averías, estabilizan y mejoran la rampa de arranque y tiempo ciclo, y contribuyen a que el personal especializado de mantenimiento pueda dedicar más tiempo a mejorar la mantenibilidad de los equipos.

2.2.3 SMED

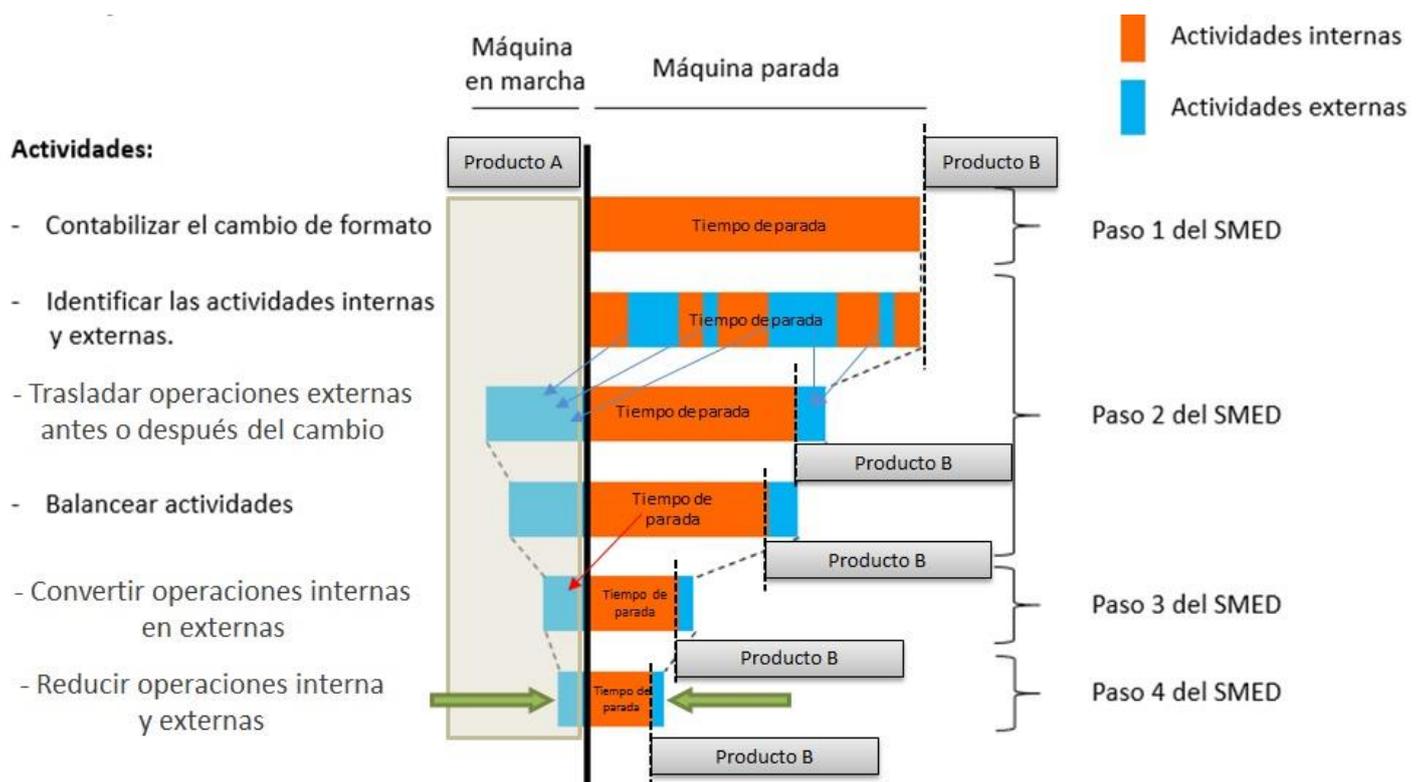
SMED por sus siglas en inglés (Single-Minute Exchange of Dies), es una metodología o conjunto de técnicas que persiguen la reducción de los tiempos de preparación de máquina. Esta se logra estudiando detalladamente el proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, utillaje, herramientas e incluso el propio producto, que disminuyan tiempos de preparación. Estos cambios implican la

eliminación de ajustes y estandarización de operaciones a través de la instalación de nuevos mecanismos de alimentación/retirada/ajuste/centrado rápido como plantillas y anclajes funcionales.

La reducción en los tiempos de preparación merece especial consideración y es importante por varios motivos. Cuando el tiempo de cambio es alto los lotes de producción son grandes y, por tanto, la inversión en inventario es elevada. Cuando el tiempo de cambio es insignificante se puede producir diariamente la cantidad necesaria eliminando casi totalmente la necesidad de invertir en inventarios.

Los métodos rápidos y simples de cambio eliminan la posibilidad de errores en los ajustes de técnicas y útiles. Los nuevos métodos de cambio reducen sustancialmente los defectos y suprimen la necesidad de inspecciones. Con cambios rápidos se puede aumentar la capacidad de la máquina. Si las máquinas se encuentran a plena capacidad, una opción para aumentarla, sin comprar máquinas nuevas, es reducir su tiempo de cambio y preparación.

La implantación de la herramienta SMED consta de cuatro etapas:



1. Descomponer e identificar el cambio en operaciones, mediante un estudio de tiempos y proceso.
2. Separar las operaciones en externas e internas. Identificar como externas aquellas operaciones que pueden realizarse con la máquina en marcha, mientras ésta procesa la referencia saliente y entrante. Identificar como internas aquellas operaciones que deben realizarse con la máquina parada.

3. Convertir operaciones internas en externas. La idea es que al tiempo en el cual el sistema no está produciendo, se efectúen todas las tareas estrictamente necesarias para el cambio. En esta etapa es necesario hacer una revisión minuciosa de las actividades internas, para poder hacer la conversión pertinente y así ganar más tiempo productivo es decir, hacer todo lo necesario fuera de la máquina en funcionamiento para que cuando ésta se pare se haga el cambio necesario, de modo de que se pueda comenzar a funcionar rápidamente.
4. Perfeccionar las tareas internas y externas. Para reducir las operaciones internas se debe actuar sobre los ajustes, los elementos de fijación, los desplazamientos del operario y el trabajo en paralelo, y para las externas se debe actuar sobre las búsquedas, desplazamientos y esperas.

2.2.4 Kanban

Se denomina Kanban a un sistema de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas (en japonés, *Kanban*), aunque pueden ser otro tipo de señales. Utiliza una idea sencilla basada en un sistema de tirar de la producción (*pull*) mediante un flujo sincronizado, continuo y en lotes pequeños, mediante la utilización de tarjetas. Kanban se ha constituido en la principal herramienta para asegurar una alta calidad y la producción de la cantidad justa en el momento adecuado.

El sistema consiste en que cada proceso retira los conjuntos que necesita de los procesos anteriores y éstos comienzan a producir solamente las piezas, subconjuntos y conjuntos que se han retirado, sincronizándose todo el flujo de materiales de los proveedores con el de los talleres de la fábrica y, a su vez, con la línea de montaje final. Las tarjetas se adjuntan a contenedores o envases de los correspondientes materiales o productos, de forma que cada contenedor tendrá su tarjeta y la cantidad que refleja la misma es la que debe tener el envase o contenedor.

Se distinguen dos tipos de kanbans:

- El *kanban de producción*, que indica qué y cuánto hay que fabricar para el proceso posterior.
- El *kanban de transporte*, que indica qué y cuánto material se retirará del proceso anterior.

La principal aportación del uso de estas tarjetas es conseguir el reaprovisionamiento único del material vendido, reduciéndose de este modo, los stocks no deseados.

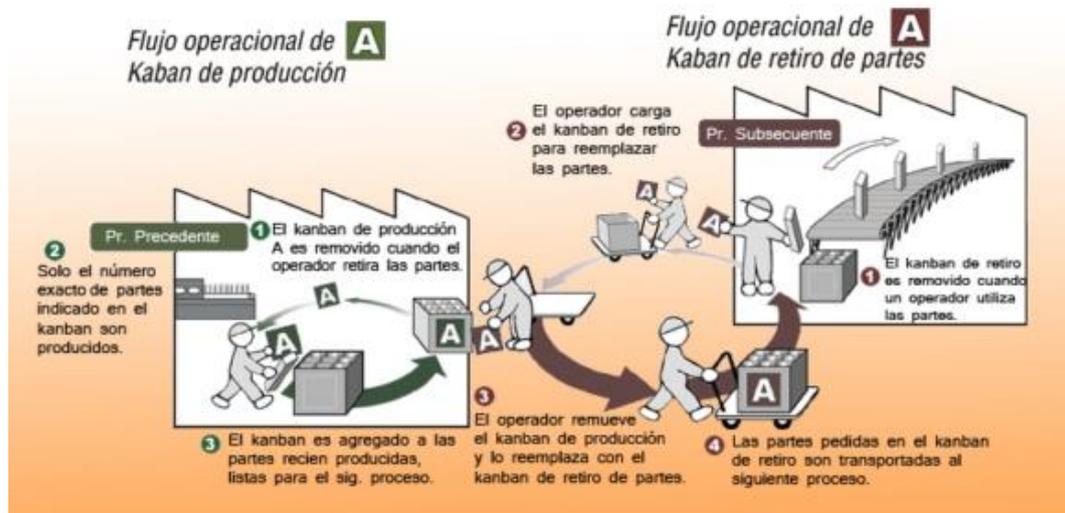


Figura 2.7 – Ciclo Kanban de producción y transporte.

En la imagen anterior, se puede comprender como funciona el ciclo de las tarjetas kanban a lo largo de los procesos A y B. En los capítulos de desarrollo del PI, se profundizará en este sistema de sincronización para implementar JIT y el flujo “pull” de fabricación, donde se realizarán cálculos para obtener datos como el lote económico de producción, la cantidad de tarjetas, el número de piezas por caja y demás.

2.2.5 Estandarización

Los estándares son descripciones escritas y gráficas que ayudan a comprender las técnicas más eficaces y fiables de una fábrica y proveen de los conocimientos precisos sobre personas máquinas, materiales, métodos, mediciones e información, con el objeto de hacer productos de calidad de modo fiable, seguro, barato y rápidamente.

La estandarización en el entorno de fabricación japonés, se ha convertido en el punto de partida y la culminación de la mejora continua y, probablemente, en la principal herramienta del éxito de su sistema. Partiendo de las condiciones corrientes, primero se define un estándar del modo de hacer las cosas; a continuación se mejora, se verifica el efecto de la mejora y se estandariza de nuevo un método que ha demostrado su eficacia. La mejora continua es la repetición de este ciclo. En este punto reside una de las claves del pensamiento Lean: “Un estándar se crea para mejorarlo”.

La **Hoja de Trabajo Estándar** es una herramienta que sirve para estandarizar el método conocido más eficiente, más sencillo y más seguro conforme al cual realizar un determinado trabajo repetitivo. Se centra en los movimientos cíclicos del operario y su relación con las máquinas, los materiales y el tiempo. Es indispensable

para reducir el despilfarro y la variación en los movimientos repetitivos del operario. Para elaborar la hoja de trabajo estándar es esencial el control de la variable tiempo.

2.2.6 Heijunka. Producción Nivelada

Heijunka es la técnica que sirve para planificar y nivelar la demanda de clientes en volumen y variedad durante un periodo de tiempo, normalmente un día o turno de trabajo. La gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización.

Los pedidos de los clientes son relativamente constantes si se consideran en promedio dentro de un período suficientemente grande de tiempo, pero son impredecibles si se analizan con un rango de tiempo pequeño y fuera de un programa pactado. En el primer caso, las variaciones de la producción se deben al propio proceso. En el segundo caso, es la aplicación extrema del tamaño unitario del lote lo que lleva a las empresas a intentar el ajuste instantáneo de la demanda, soportando todas las variaciones de los pedidos. A través de una producción continua nivelada, suavizada y en pequeños lotes, se logra producir con el mínimo nivel de despilfarro posible.

Para la aplicación del Heijunka existen una serie de técnicas que, integradas en su conjunto, permiten obtener un sistema avanzado de producción con flujo constante, ritmo determinado y trabajo estandarizado, lo que proporciona unas ventajas muy significativas desde el punto de vista de la optimización de mano de obra, minimización de inventarios y tiempos de respuesta al cliente. Estas técnicas son:

1. Usar células de trabajo.

El diseño que mejor cumple los requerimientos básicos de la gestión Lean es la denominada “célula flexible” (o de trabajo), que responde al concepto de flujo de actividades muy cercanas y que adopta la forma física de “U”. Lo esencial de la distribución en U es que la entrada y la salida de una línea se encuentran en la misma posición. El flujo continuo transforma varios procesos que trabajan de forma independiente en una celda de trabajo conjunta donde todos los procesos van ligados uno después del otro.

2. Flujo continuo pieza a pieza.

El concepto de flujo continuo se resume mediante una frase simple: “mover uno, producir uno”, asegurar que una operación “aguas arriba” nunca haga más de lo que requiere una operación “aguas abajo”, de manera que nunca se produce más de lo que solicita un cliente. El flujo continuo supone configurar todo el proceso para que dicho flujo se interrumpa lo menos posible, de modo que se pueda trabajar a un ritmo fluido y, para hacerlo posible, se necesitan contemplar tres niveles distintos:

- Flujo de información normalizado para tomar decisiones.
- Flujo de materiales, al reducir el despilfarro paso a paso, se crea un flujo de materiales con el menor plazo de producción posible.
- Flujo de operarios (trabajo normalizado). Al formar a los operarios y asignarles las técnicas adecuadas, se crean estaciones de trabajo que ofrecen gran flexibilidad y eficacia.

3. Producir respecto al Takt time (tiempo de ritmo).

El *takt*, “compás” en idioma alemán, se emplea para sincronizar el tiempo de producción con el de ventas, convirtiéndose en un número de referencia que da una sensación del ritmo al que hay que producir. Se calcula dividiendo el tiempo disponible de producción por la demanda del cliente, todo ello en un periodo dado. Así pues, el *takt time* se puede describir mediante la siguiente fórmula:

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ operativo\ por\ periodo\ [s]}{Demanda\ cliente\ por\ periodo\ [unidades]}$$

4. Nivelar el mix y el volumen de producción.

La programación de grandes series o lotes en los procesos finales de montaje o procesos reguladores evita realizar muchos cambios pero esto genera problemas, ya que se traduce en requerimientos de más stock de producto terminado y mayor periodo de maduración. El inventario en curso de procesos aguas arriba también se incrementa y amplifica por la necesidad de disponer de los conjuntos en grandes lotes. De la misma manera, pequeñas fluctuaciones de las órdenes en el proceso regulador afectan y distorsionan los requerimientos de capacidad aguas arriba.

Una de las formas más efectivas de evitar dicho efecto consiste en realizar un mix o mezcla lo más nivelada posible en el proceso regulador. Nivelar el mix de producción significa producir en pequeños lotes, incrementando el número de cambios y manteniendo las variantes de componentes a disposición. Esto implica indefectiblemente el uso de la herramienta SMED para acortar los tiempos de cambio.

Enfoque JIT de utilización equilibrada de materiales

AA BBB C AA BBB C

Enfoque de grandes lotes

AAAAAA BBBB BBBB CCC AAAAAA BBBB BBBB CCC AAAAAA BBBB BBBB CCC

→
Tiempo

Figura 2.8 – Pequeños lotes de producción (Heizer y Render, 2006)

2.2.7 Jidoka, Automatización con un toque humano.

El término Jidoka se traduce como automatización con un toque humano o automatización inteligente, trata sobre cómo sustituir el trabajo manual por el trabajo de máquinas autónomas. Es el resultado de la unión de dos conceptos:

- Automatización: sustitución parcial o total del trabajo manual por el trabajo de una máquina (separación de la persona de la máquina).
- Máquina autónoma: máquina capaz de detectar situaciones anómalas, parar automáticamente y avisar, con el fin de:
 - Evitar la fabricación de productos defectuosos y su envío al proceso siguiente.
 - Evitar daños en la propia máquina y en el utillaje.

El Jidoka resalta las anomalías, hace visibles los defectos y permite fabricar calidad en cada uno de los procesos de la corriente de valor. Una máquina automática realiza un proceso sin la intervención de la persona, sin embargo, necesita vigilancia para detectar cualquier situación anómala. El operario no añade valor mientras vigila la máquina; su actividad es *muda* (espera del operario). Por el contrario, una máquina autónoma no requiere la vigilancia permanente de la persona; cuando se produce una anomalía, la máquina la detecta, se detiene y avisa.

Según Madariaga (2013), “El JIT reduce el lead time y el Jidoka disminuye el contenido total de trabajo”

El Jidoka propone diferentes grados de automatización. El nivel de automatización adecuado dependerá de las características físicas del producto, del número de referencias, del *takt time*, de las características tecnológicas de la máquina/proceso, del costo de la mano de obra directa. El grado de automatización de las máquinas de una célula influye directamente en el contenido total de trabajo (CTT) de los productos que en ella se fabrican y, por lo tanto en el número de operarios necesarios por relevo.

Otro punto clave de las técnicas Jidoka es el sistema de autoinspección o inspección “a prueba de errores”, conocido como **Poka-Yoke** en japonés. Se trata de unos mecanismos o dispositivos que, una vez instalados, evitan los defectos al cien por cien aun-que exista un error humano.

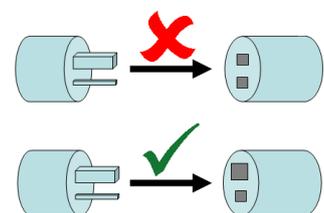


Figura 2.9 – Poka-Yoke

2.2.8 JIT. Sistema Justo a Tiempo

El propósito del Just in Time, es fabricar lo que se necesita, cuando se necesita y la cantidad que se necesita, utilizando máquinas simples y el mínimo de materiales, mano de obra y espacio. Cuanto más se aleja de este objetivo más se incrementa la sobreproducción y, por lo tanto, el despilfarro.

Con la finalidad de cumplir los pedidos y las previsiones de la demanda, la fábrica tradicional empuja (*push*) los productos a través de un sistema productivo caracterizado por elevados tiempos de cambio no cuestionados, lotes grandes, colas y esperas. La fábrica tradicional sobreproduce y empuja, es decir, produce sin tener en cuenta el estado del inventario entre procesos. No pone límites al inventario entre procesos, dando lugar a largos lead time, defectos, transportes innecesarios.

Frecuentemente, la fábrica tradicional ha confiado la mejora de la productividad de su sistema de fabricación a la implantación de programas informáticos de gestión de la producción (*MRP*¹) sin considerar que añadir complejidad a la gestión de un sistema productivo ineficiente no suele producir buenos resultados. Por el contrario, el Just in Time minimiza la sobreproducción, uno de los males de la fábrica tradicional, mediante un enfoque opuesto: trata en primer lugar de disminuir la complejidad del sistema productivo de tal forma que su gestión sea más sencilla.

Inventario

Los inventarios en los sistemas tradicionales de producción y de distribución existen “por si acaso” algo no va bien, se utilizan sólo en el caso de que ocurra alguna variación respecto al plan de producción. El inventario extra se utiliza entonces para afrontar y tapar variaciones o problemas. Las tácticas eficaces de inventario tienen que ser justo a tiempo, y no “por si acaso”. El inventario justo a tiempo es el mínimo inventario necesario para mantener en funcionamiento un sistema perfecto.

La idea base del sistema JIT consiste en suprimir el stock que oculta la variabilidad en el sistema productivo, esto se ejemplifica en la figura 2.10, asimilando el nivel de inventario con el del agua y los problemas con las piedras del fondo. El nivel del agua en el lago oculta la variabilidad y los problemas. Como el inventario oculta los problemas, es difícil encontrarlos.

Es por eso que la reducción del stock deja al descubierto las piedras, y recién ahí se pueden resolver. Es vital que esta decisión se tome, ya que es la única alternativa para poder quitar todos los vicios que esconden los inventarios y poder mejorar.

¹ MRP (Plantificación de los materiales) es un sistema de plantificación y administración, normalmente asociado con un software que plantea la producción y un sistema de control de inventarios, tiene el propósito que se tengan los materiales requeridos, en el momento oportuno para cumplir con las demandas de los clientes. (Machuca, 1995).

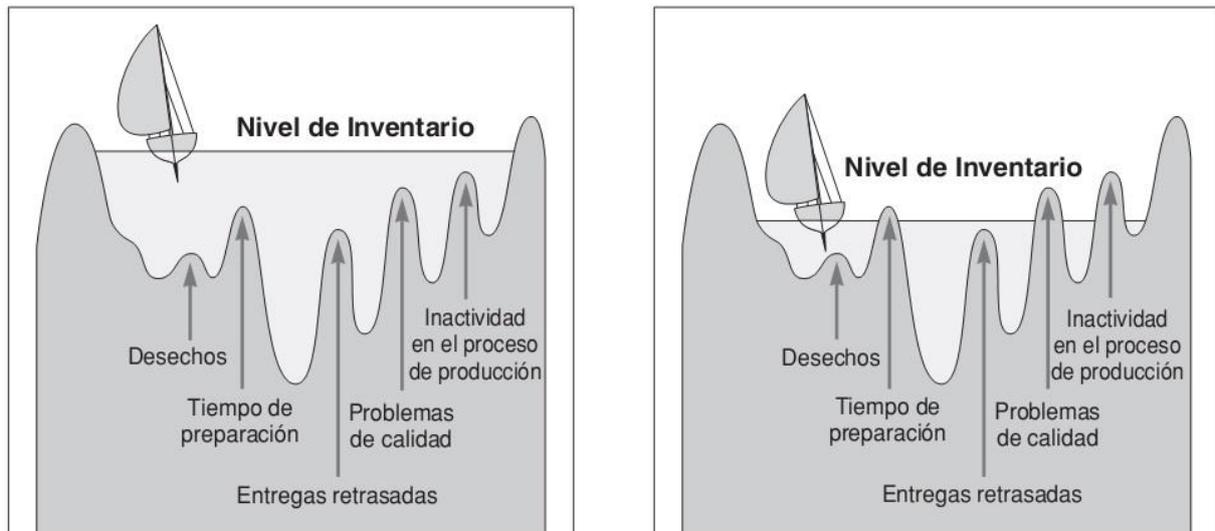


Figura 2.10 – Consecuencia del inventario en la producción (Heizer y Render, 2006)

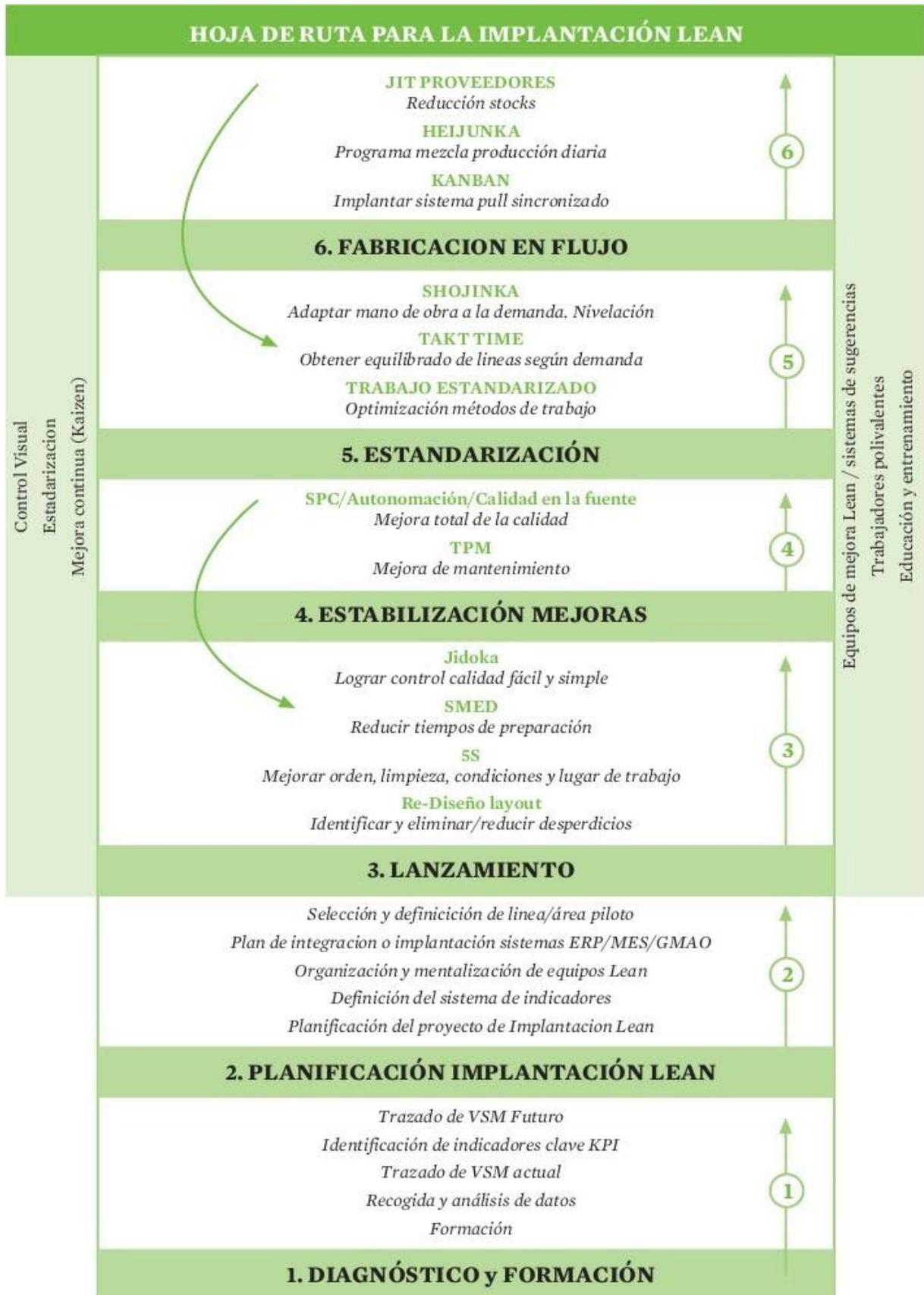
Sistema Pull

En los sistemas push la introducción de trabajo en la corriente de valor no está condicionada por el inventario del sistema. En los sistemas push el inventario a la entrada de un proceso no está limitado, es independiente del inventario del resto de procesos, es decir, los sistemas push dejan flotar el inventario.

Por el contrario, en un sistema *pull*, la introducción de trabajo en la corriente de valor es función del inventario del sistema, el cual suele estar limitado. El JIT conecta mediante sistemas *pull* (tirar) aquellos procesos con los cuales no ha sido posible crear flujo continuo. Se pueden implementar tres tipos según condiciones:

- Pull mediante FIFO (First in first out): se puede utilizar interpuestos, toboganes, mesa con rodillos para puestos limítrofes. El stock intermedio está restringido por la capacidad máxima de los medios de transporte de la pieza.
- Pull mediante supermercado y Kanban.
- Pull mediante Kanban de Px y transporte.

Se concluye el marco teórico del PI con los pasos a seguir para la implantación de Lean Manufacturing partiendo de una planta tradicional, propuesto por Hernández e Idoipe (2013) en su hoja de ruta resumida:



Cuadro 2.2 – Implantación Lean Manufacturing

Capítulo 3. Desarrollo Industria Automotriz

3.1 Síntesis Terminal Automotriz

En este capítulo, se explican los procesos de fabricación de un automóvil, para entender cómo funciona una terminal automotriz en su totalidad. Una vez realizado el desarrollo macro, se focaliza en el proceso de interés del PI, las partes móviles, y se profundiza detalladamente en los aspectos técnicos, para en el próximo capítulo poder llevar a cabo el objetivo con las bases definidas.

La industria automotriz está integrada por dos sectores: terminales y autopartes. El autor plantea en este trabajo el enfoque en las actividades realizadas por las empresas fabricantes de vehículos ligeros y específicamente en los sedan y hatchback.

En una terminal automotriz se fabrica básicamente la carrocería, el motor y caja de cambio, todas las demás piezas del auto son fabricadas generalmente por los proveedores. Por lo tanto, se puede decir que en una terminal se ensamblan los distintos subconjuntos. La planta de producción, se divide en cinco grandes etapas:

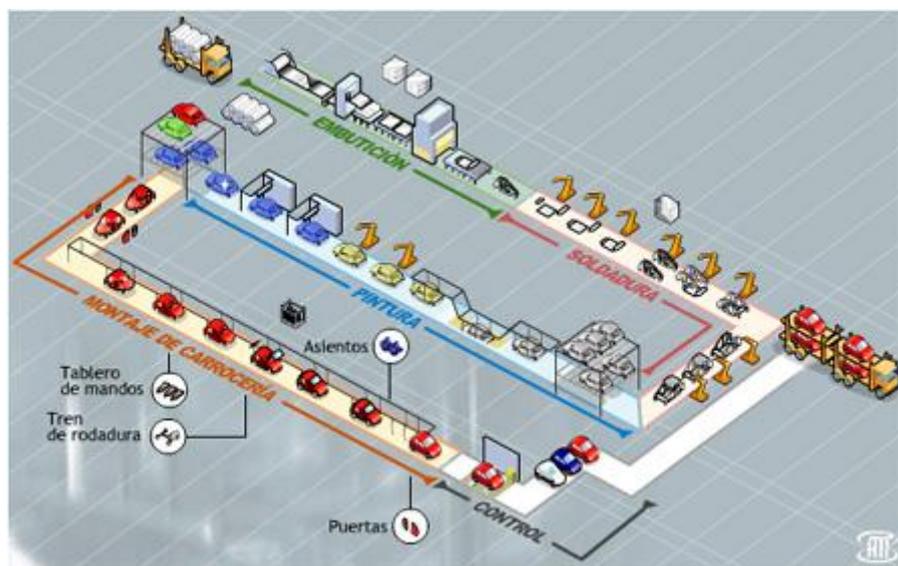


Figura 3.1 – Proceso de fabricación de un automóvil.

1. Embutición: en esta área se elaboran todas las piezas de chapa, con las cuales se creará la carrocería. El metal llega a la planta en forma de bobinas las cuales se cortan en planchas y prensan en un molde para darles la forma deseada. La línea de prensas forma un tren de producción, en la cual se secuencian las matrices para formar una pieza en varias etapas, ya que rara

vez se puede embutir piezas en una sola pasada, debido al límite de la deformación plástica que termina en la ruptura de la chapa.

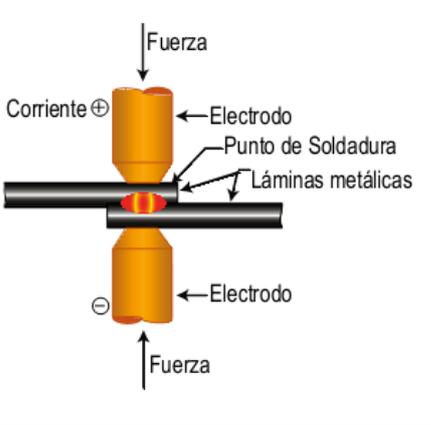
2. Soldadura/Chapistería: en esta área se unen todos los componentes de chapa de las prensas y conforman la estructura de la carrocería. La unión se hace por medio de puntos de soldadura (soldadura por resistencia), cordones de soldadura con máquinas MIG/MAG, tornillos, remaches, agrafados, uniones con pegamentos y también mediante encastres. Una vez la carrocería 'en blanco' terminada se traslada a la planta de pintura.
3. Pintura: la carrocería desnuda primero se limpia y desengrasa, luego se protege contra corrosión, mediante inmersiones en cubas de tratamiento de fosfatizado y cataforesis, se vuelven a lavar y se secan. Después le siguen el lijado, el sellado de juntas, la protección del piso, pintura de base, acabado, barniz y finalmente el horneado.
4. Montaje: llega la carrocería pintada y entra en la línea de montaje donde se ensamblan todos los componentes necesarios. Se desmontan las partes móviles para ser ensambladas de forma paralela y así facilitar el acceso al interior del vehículo. Se comienza con los masos de cables para ir poblando el interior poco a poco, revestimientos, módulo de climatización, volante y eje, panel de instrumentos, asientos, etc. En paralelo se ensambla el motor con la transmisión y los ejes. El cuerpo del vehículo y la parte inferior motriz se unen para formar un solo conjunto. Finalmente se ensamblan las puertas desensambladas al comienzo del montaje, se rellena el vehículo con todos los líquidos necesarios, y se realizan los últimos ajustes de terminaciones.
5. Control de Calidad: apenas sale el vehículo de la línea de montaje se prende el motor por primera vez para probarlo a altas velocidades sobre una mesa de ensayo y se comprueba que no tenga fallas. Después se efectúan ensayos de estanqueidad, alineaciones, ruidos, terminaciones y rodaje final.

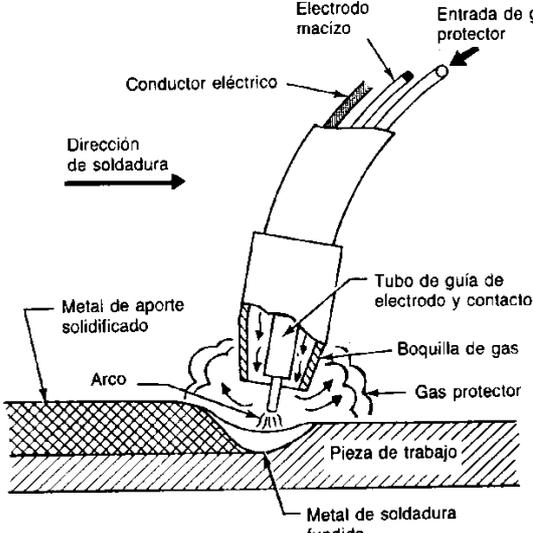
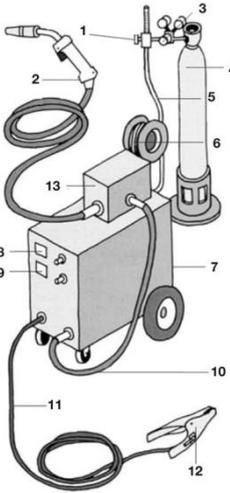
3.2 Planta de Soldadura

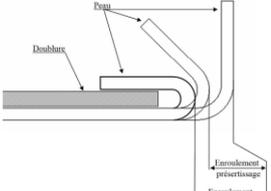
Focalizando el proyecto en la planta de soldadura, se describen los procesos de armado de subconjuntos, los medios de fabricación, las tecnologías existentes en máquinas y las tareas de los operarios.

El insumo básico del área de soldadura, son las piezas de chapa estampadas por el área de embutición o por proveedores externos según los tipos de pieza. Estas piezas se pueden abastecer desde depósitos o de forma directa a las islas de armado. Como se mencionó, el proceso consiste en unir todas las piezas metálicas mediante soldadura y conformar lo que se llama "carrocería en blanco", para luego enviarla a Pintura.

En el proceso de fabricación, se distinguen varios tipos de operaciones, que se describen en el cuadro a continuación:

Tipo de operación	Tipo de máquina	Descripción	Imágenes
Soldadura por puntos (resistencia)	Pinza de soldar manual con transformador incorporado	La técnica de soldadura por punto, consiste en hacer circular una corriente eléctrica que fluya por los electrodos generando el calentamiento de las piezas, debido a la resistencia que presentan los metales, produciendo una fusión controlada sin utilizar materiales de aporte. Al mismo tiempo, los electrodos aplican presión de manera constante, antes, durante y después de la generación de la corriente eléctrica, para mantener unidas las áreas soldadas.	
	Pinza robotizada		
	Soldadoras de pedestal		 <p>The diagram shows two cylindrical electrodes, one above and one below, clamping two metal sheets. An arrow labeled 'Fuerza' (Force) points down from the top electrode and up from the bottom electrode. A central arrow labeled 'Corriente ⊕' (Current) points down through the top electrode, and another labeled '⊖' (Current) points up through the bottom electrode. The point where the two metal sheets meet is labeled 'Punto de Soldadura' (Welding point). The sheets are labeled 'Láminas metálicas' (Metal sheets).</p>

Cordón de soldadura MIG/MAG	<p>La soldadura MIG/MAG (Metal Inert Gas o Metal Active Gas) es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (soldadura MIG) o por un gas activo (soldadura MAG).</p>  <p>The diagram illustrates the MIG/MAG welding process. A torch nozzle is shown moving to the right, as indicated by the 'Dirección de soldadura' (Direction of welding) arrow. Inside the torch, a 'Conductor eléctrico' (Electric conductor) carries a 'Electrodo macizo' (Solid electrode) through a 'Tubo de guía de electrodo y contacto' (Electrode guide tube and contact tube). 'Entrada de gas protector' (Protective gas inlet) is shown at the top of the torch. The electrode is surrounded by 'Gas protector' (Protective gas) as it melts to form an 'Arco' (Arc) on the 'Pieza de trabajo' (Workpiece). This creates a 'Metal de aporte solidificado' (Solidified filler metal) and a 'Metal de soldadura fundido' (Fused welding metal).</p>	 <p>The diagram shows the components of a MIG/MAG welding system, numbered 1 through 13: 1. Torch, 2. Cable, 3. Gas cylinder, 4. Gas regulator, 5. Gas hose, 6. Gas inlet, 7. Power source, 8. Control panel, 9. Power input, 10. Grounding clamp, 11. Electrode holder, 12. Electrode reel, 13. Electrode reel.</p>
------------------------------------	--	---

Pernos soldables	La soldadura de pernos metálicos sobre chapa, consiste en unir las partes mediante un arco eléctrico que funde ambos materiales. Los pernos y clip plástico reemplazan el agujero y tornillo, para montar alfombras por ejemplo.	
Remachado	El remache ciego consta del cuerpo del remache (perno, pieza hueca) y un vástago, espiga o mandril (maciza, en el interior del perno). Se utiliza para unir firmemente chapas entre sí y principalmente para pre-localizar piezas.	
Atornillado	El atornillado se utiliza frecuentemente para unir subconjuntos, fijar bisagras y como pre-localizadores.	
Sellador	La aplicación de selladores tiene como fin pegar chapas y asegurar la estanqueidad del vehículo.	
Rigidizador	El rigidizador es un producto semi-estructural que se aplica en forma de banda autoadhesiva a un panel de chapa con el objetivo de reforzar y quitarle maleabilidad para evitar vibraciones y ruidos.	
Agrafado o pestañado	El agrafado, es el plegado de una chapa sobre otra para unir las. Se aplica para los bordes de las partes móviles, ya que al ser una pieza vista no se pueden soldar debido a que no es estético. Por eso, es que los paneles interior y exterior se hermanan mediante un pestañado.	

Cuadro 3.1 – Distintos procesos de fabricación en planta de soldadura

La planta de soldadura se divide en cuatro grandes sectores:

1. **Subconjuntos:** el inicio del vehículo, se arman todas las partes que conforman la carrocería desnuda sin partes móviles. Se subdivide en base rodante, laterales, techo, faldón y cara delantera. Primero se arma la base rodante compuesta por piso trasero, piso central y block delantero, estos subconjuntos forman la estructura principal del auto, el cual se monta sobre una línea de armado. Luego se montan los laterales, faldón y techo para ser todos soldados en el “armado general” donde se conforma la geometría del conjunto de la carrocería. Por último se une la cara delantera, el cual le dará posteriormente la geometría a los faros, guardabarros, paragolpes y capot.

2. Partes Móviles: comprende el armado de puertas delanteras/traseras, capot, portón de cola o tapa baúl y guardabarros. Son todas las partes del auto que tienen movilidad con bisagras, con excepción de los guardabarros.
3. Metal Finish Line: o línea final de chapa. Es una línea donde ingresa la carrocería desnuda y se le montan todas las partes móviles además de realizarle refuerzos con cordones de soldadura y pequeñas operaciones.
4. Control de calidad y retoques: con la carrocería lista, se procede a verificar la presencia de defectos y a retoquearlas si necesario. Por otro lado, con periodicidad se retira una carrocería para llevarla a la sala de mediciones y controlar la geometría de la misma.

A continuación se señalan las partes que conforman una carrocería, tomando como ejemplo la de un Renault Clio:

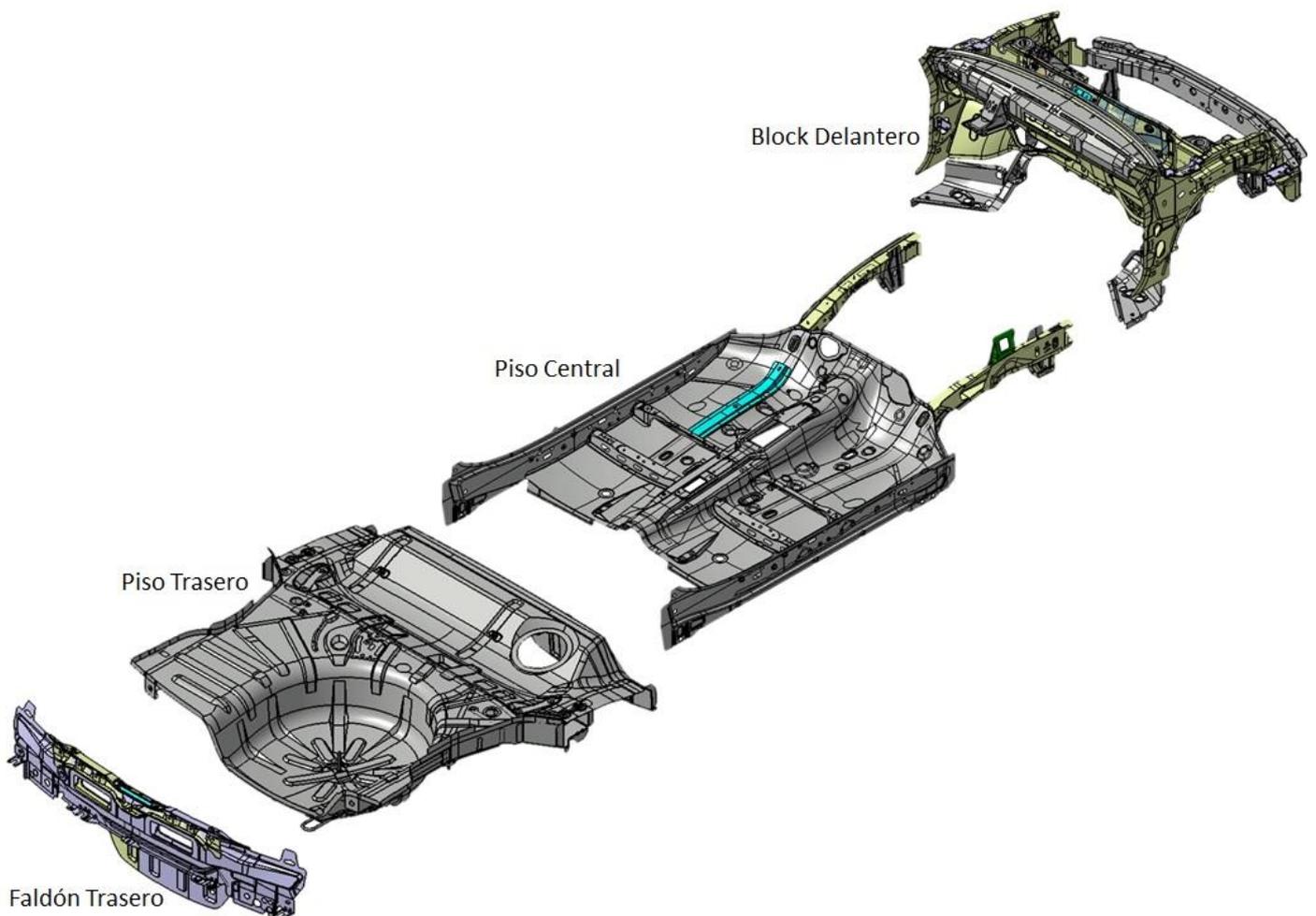


Figura 3.2 – Base Rodante

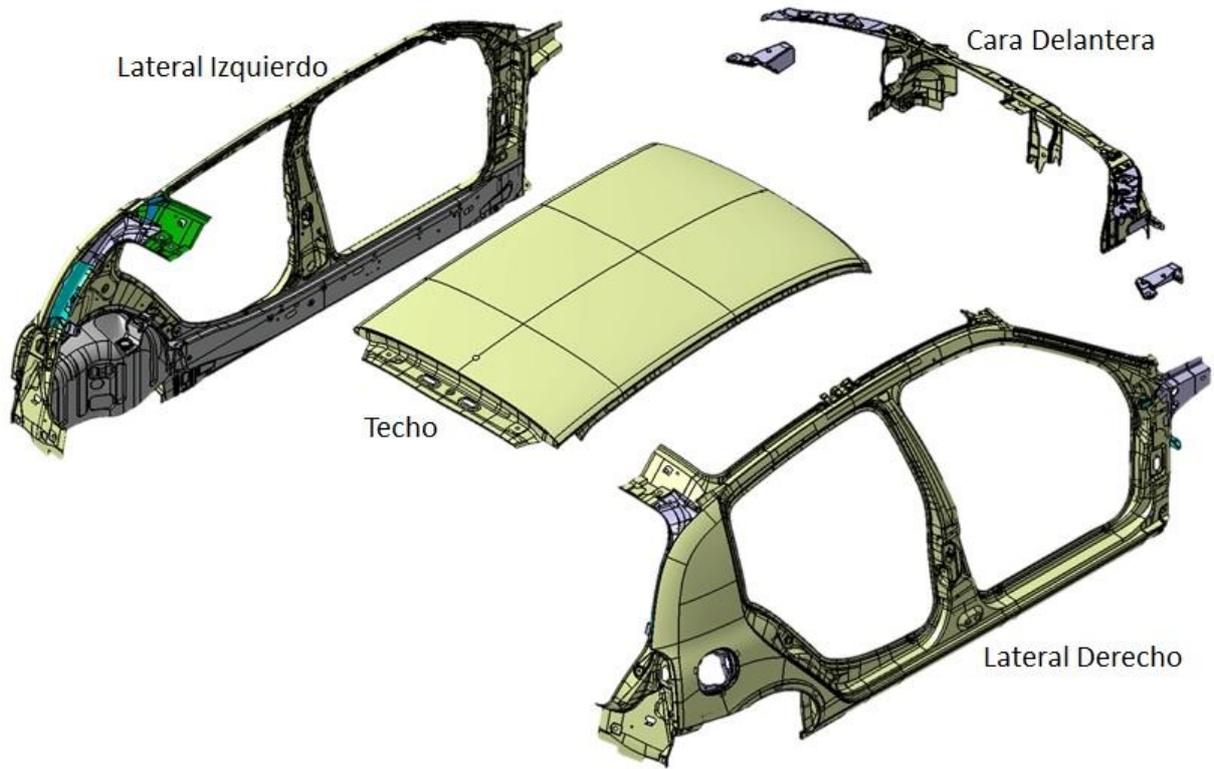


Figura 3.3 – Subconjuntos de carrocería

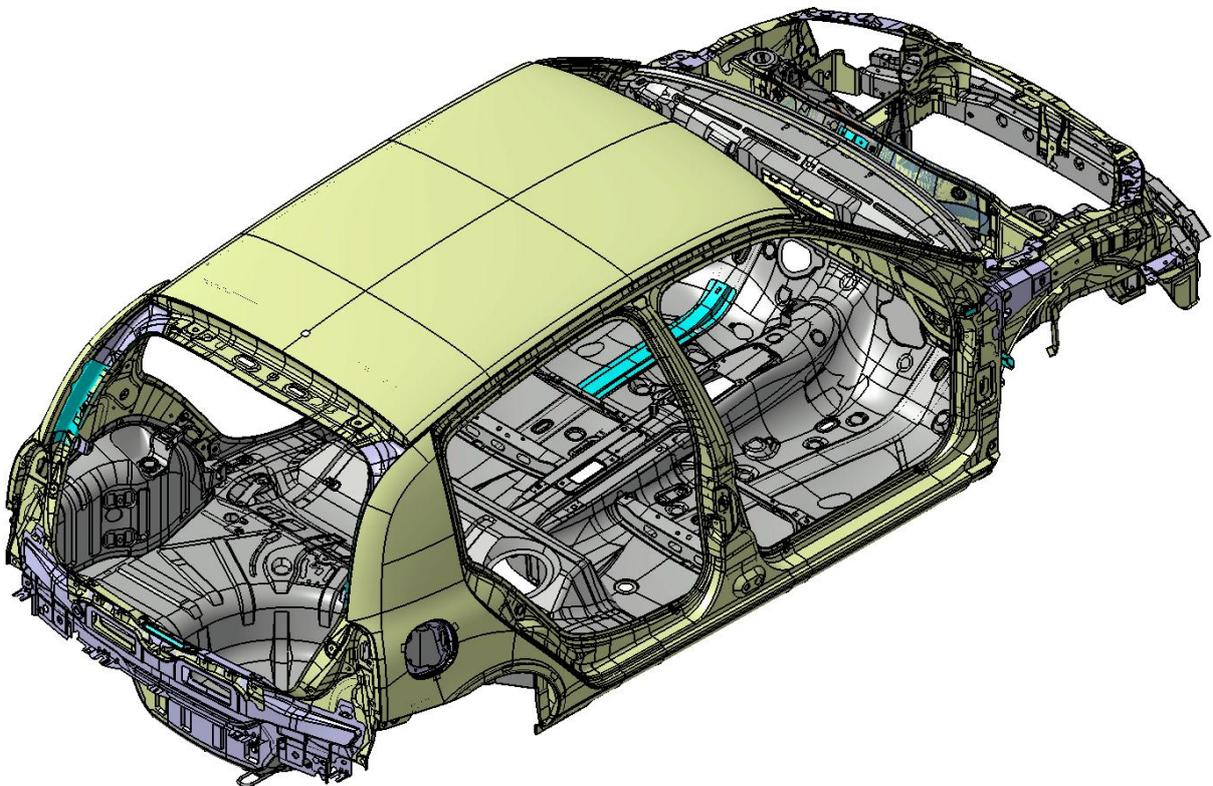


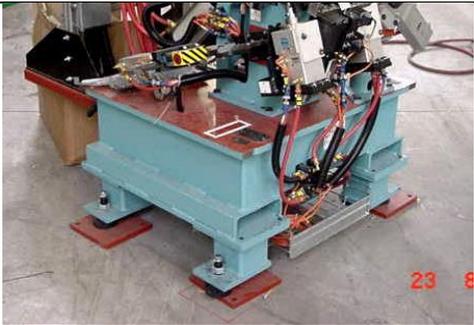
Figura 3.4 – Carrocería desnuda sin partes móviles

Dispositivos de Geometría/Ensamble (armado)

El término dispositivo se utiliza como sinónimo de aparato, es algo que establece una disposición. En la planta de soldadura, un dispositivo de geometría/ensamble es un medio de fabricación que consolida la geometría de las piezas de chapa para formar un subconjunto y luego unirlos mediante soldadura.



Imagen 3.1 – Ejemplo dispositivo de geometría.

Tipos de dispositivos	
<p><u>Fijo en el suelo</u> Utilizados por ejemplo para el armado de partes móviles.</p>	
<p><u>Sobre mesa giratoria</u> Es el caso de las cunas de agrafado o líneas de ensamblado por robot.</p>	

<p style="text-align: center;"><u>Embarcado sobre robot</u></p> <p>En este caso las pinzas son fijas y es el robot con el dispositivo que se mueven.</p>	
<p style="text-align: center;"><u>Trineo carrocería "Skid"</u></p> <p>Es el medio por el cuál la carrocería ingresa al armado general AG y luego al <i>Metal Line ML</i></p>	
<p><u>Gripper referenciado sobre carrocería</u></p> <p>Especialmente se utiliza este tipo de medio para la cara delantera.</p>	

Cuadro 3.2 – Tipos de dispositivos.

Un dispositivo de ensamble, restringe los 6 grados de libertad de las piezas que se montan, generando un isostatismo del subconjunto. Los medios de fabricación constan de bridas (apoyos) y pilotos que restringen los movimientos. Para construir el isostatismo son necesarios:

- 3 puntos de apoyo en una sola dirección (bridas).
- 2 puntos de alineamiento en otra dirección (pilotos y bridas).
- 1 punto de enclavamiento en la última dirección.

La estructura hiperestática aparece con frecuencia en los dispositivos ya que la maleabilidad de la chapa exige apoyos complementarios, de lo contrario la pieza podría deformarse por flexión/torsión.

A continuación se muestra en la figura las restricciones de las bridas y pilotos:

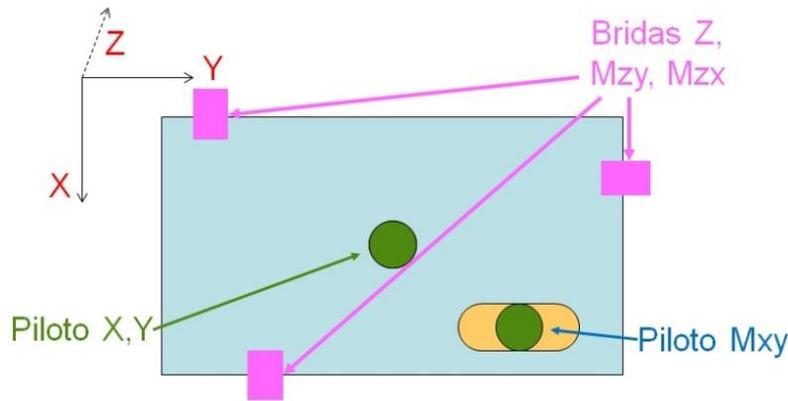


Figura 3.5 – Restricciones bridas y pilotos para isostatismo de pieza.

Todos los dispositivos fijos poseen patas que lo fijan al suelo, una base o mármol que conforma el plano referencial de geometría y torres que sujetan todos los mecanismos.

Para conformar un subconjunto, ejemplo “puerta delantera derecha PDD”, se requieren todas las piezas y subpiezas de embutición o procesos anteriores. El conjunto de piezas se deben montar en el dispositivo de geometría siguiendo un orden preestablecido y proceder al accionamiento de cierre de bridas. Existen tres tipos de accionamientos:

- **Manual:** el operario procede a cerrar las bridas mediante “abattants”.
- **Neumático:** se utilizan bridas neumáticas con un sistema de lógica neumática.
- **Electroneumático:** se utilizan bridas neumáticas accionadas por electroválvulas y controladas por PLC.

Los pilotos pueden ser fijos, móviles o de multifunción y restringen uno, dos y tres grados de libertad respectivamente. Una vez que todas las piezas están fijadas, inicia la etapa de soldadura mediante cualquiera de los métodos nombrados anteriormente.

Efectuados todos los puntos de soldadura, se abren todas las bridas y se retira la pieza terminada.

3.3 Partes Móviles

Las partes móviles de una carrocería de tipo sedán, como se mencionó en capítulos anteriores, comprenden seis subconjuntos, estos son:

- Capot.
- Puertas delanteras (izquierda/derecha).
- Puertas traseras (izquierda/derecha).
- Portón de Cola o Tapa de Baúl, dependiendo si es un sedán o hatchback.

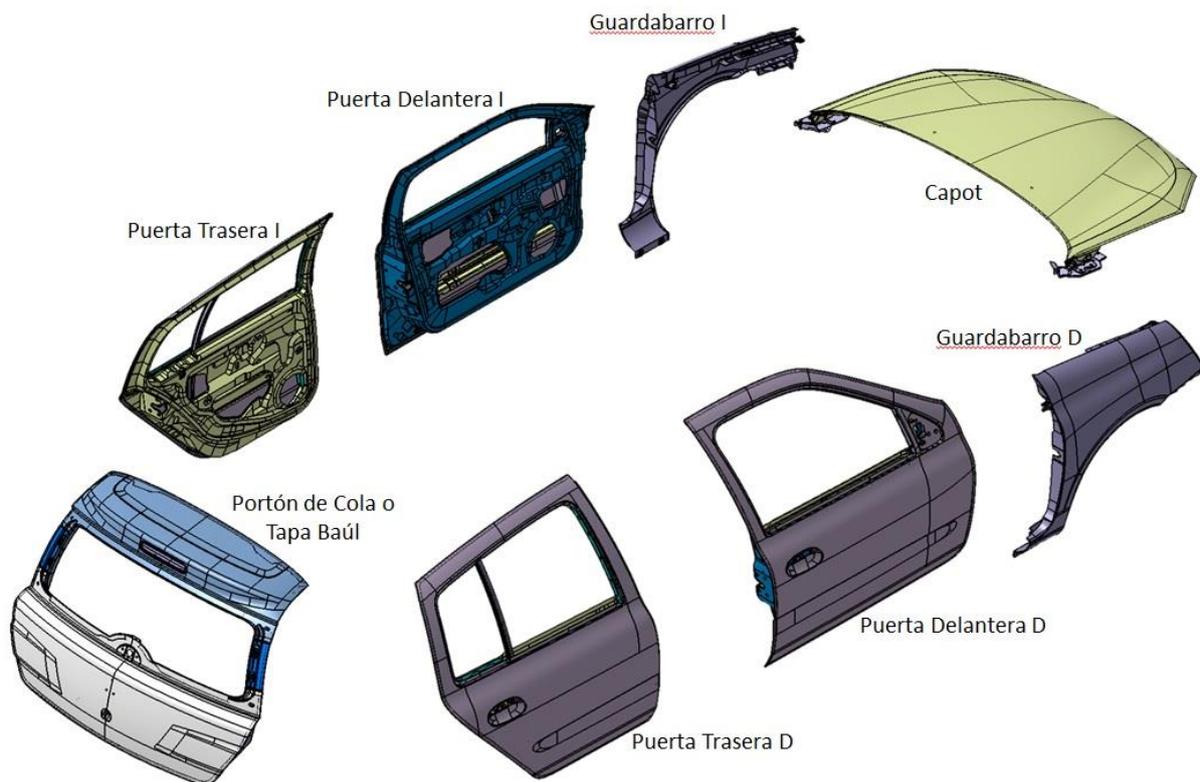


Figura 3.6 – Partes Móviles

Cabe resaltar que los guardabarras no forman parte de las PM, pero se las agrega en la figura ya que se colocan en la línea final de chapa junto con las otras piezas y por lo tanto no corresponden a subconjuntos de la carrocería desnuda.

El proceso de fabricación de las partes móviles consta de cuatro etapas bien distinguidas una de la otra:

1. Refuerzos + Panel Interior: se arman primero los refuerzos de la estructura en un dispositivo de geometría, donde se sueldan las piezas y luego se monta el panel interior encima para ser soldado en el mismo dispositivo. Es la única operación que se puede desdoblar, debido a su tiempo de ciclo largo que suele tornar este puesto cuello de botella. Por lo tanto, según el *takt time* necesario se puede definir separar la operación en 2 o 3 dispositivos para traspasar puntos de soldadura, separar los refuerzos del

panel interior y en consecuencia disminuir los tiempos de ciclo. Dependiendo del modelo pueden agregarse operaciones de remachado y colocación de sellador o autoadhesivos.

2. Hermanado de Panel Exterior + Interior: en esta operación se toma el panel exterior o piel, se le colocan rigidizadores autoadhesivos y sellador en los bordes y partes puntuales que hacen contacto con los refuerzos, para luego hermanar el conjunto de la operación anterior al mismo. El hermanado implica el encastre de una pieza con la otra y dependiendo del caso, un par de puntos de soldadura en las partes no vistas del panel que luego serán cubiertas con piezas plásticas.
3. Agrafado o pestañado: mediante la tecnología de “agrafado robotizado por rodillo”, se obtiene la unión completa entre ambos paneles. Este proceso consiste en una herramienta de dos rodillos con una forma y geometría conveniente, manipulado por un robot, la pieza a pestañar está situada en una cuna fija, luego programando una trayectoria conveniente para el robot se logra voltear progresivamente la pestaña haciendo circular el rodillo por el contorno de la cuna mientras empuja la pestaña. Esto se logra en tres pasadas del rodillo:



4. Bisagras: terminado el agrafado, se retira la pieza de la celda robotizada y se la localiza en un dispositivo para atornillar las bisagras. Finalizadas las operaciones, se colocan las partes móviles en carros para ser transportados a la línea final de chapa *MFL*.

Falta recalcar, las restricciones técnicas que el autor impuso para el PI. Existe una tecnología de agrafado clásica, que consiste en prensas hidráulicas con pestañas fijas que pliegan los bordes de la chapa sobre las cunas de la pieza. Este método tiene tiempos tecnológicos más cortos que los robotizados con rodillo pero carecen de flexibilidad ya que los dispositivos son únicos y no pueden procesar distintas variedades. Por otro lado, la nueva tecnología con robot se ha instaurado en las modernas terminales automotrices, es por tal motivo que se opta por este método y no el clásico.

Otra restricción, es la colocación de las bisagras. Anteriormente, era frecuente soldar las bisagras mediante MAG, pero la tendencia es eliminar estos cordones de soldadura por tornillos que simplifican la tarea, no generan perlado¹, disminuyen el tiempo ciclo, no precisan de operarios soldadores y simplifican la sujeción de la pieza.

¹ El perlado es la adhesión de gotas de metal fundido producto de la soldadura MIG/MAG sobre la carrocería.

La siguiente figura muestra un ejemplo de las partes que componen una puerta delantera derecha:

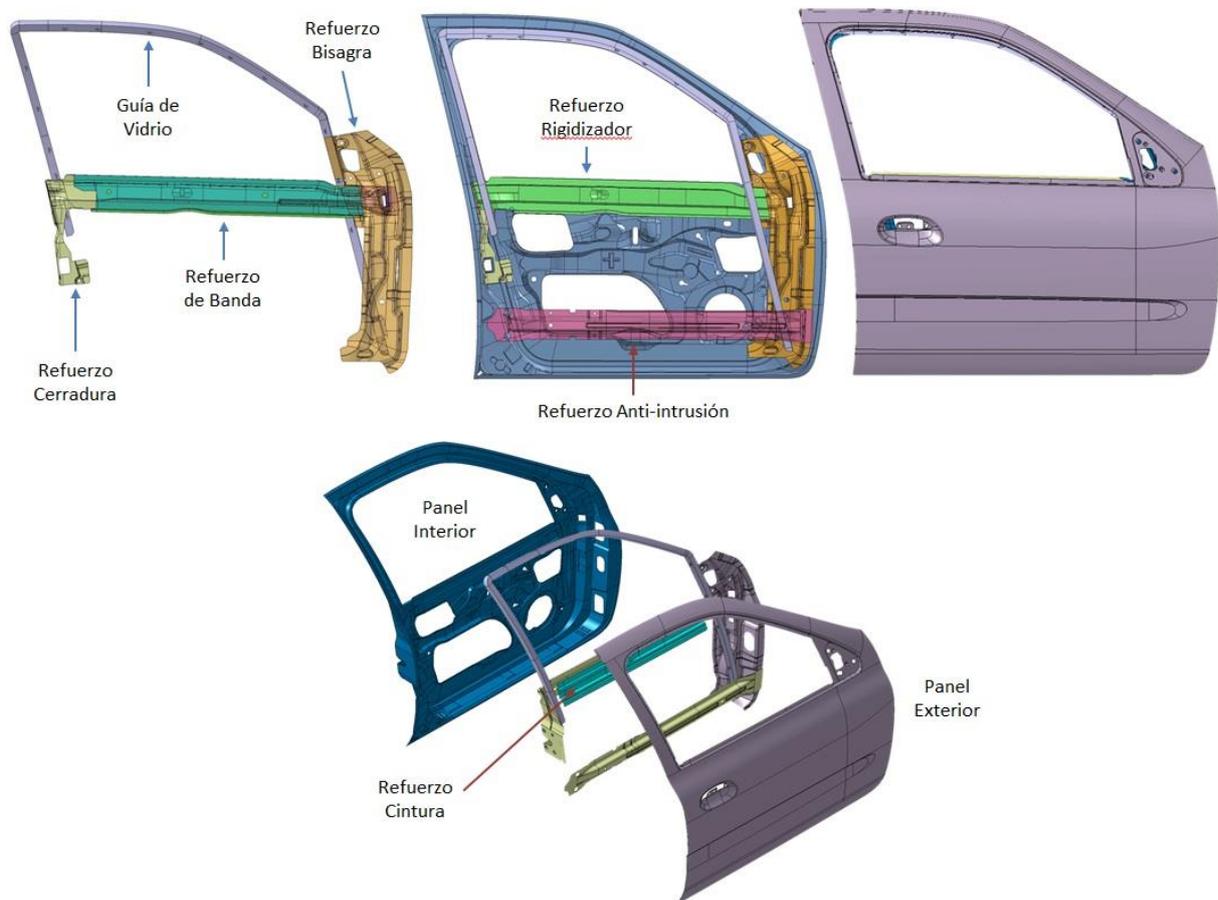


Figura 3.7 – Desglose de puerta delantera derecha

Isla simplificada de armado de Partes Móviles

Habiendo definido el proceso de armado de Partes Móviles y el concepto de dispositivos de geometría, el autor prosigue con la implantación de una isla simplificada del proceso completo, para poder interpretar lo que es un proceso tradicional e ineficiente de tipo *'push'* y en el próximo capítulo implementar herramientas de mejora.

El proceso de armado se reduce a su mínima cantidad de puestos de trabajo, es decir, a sus cuatro operaciones básicas ya definidas. Otra restricción a destacar es de fijar los primeros dos puestos de refuerzos, panel interior y hermanado, como operaciones únicamente manuales sin tener en cuenta la posibilidad de robotizarlos, debido a que no forma parte del presente estudio, además de la complejidad que esto implica.

Para entender cómo funciona una línea de armado de chapa, en este caso el de partes móviles, la forma más sencilla es mediante un plano (*layout*). A continuación se muestra la implantación simplificada de la isla de armado:

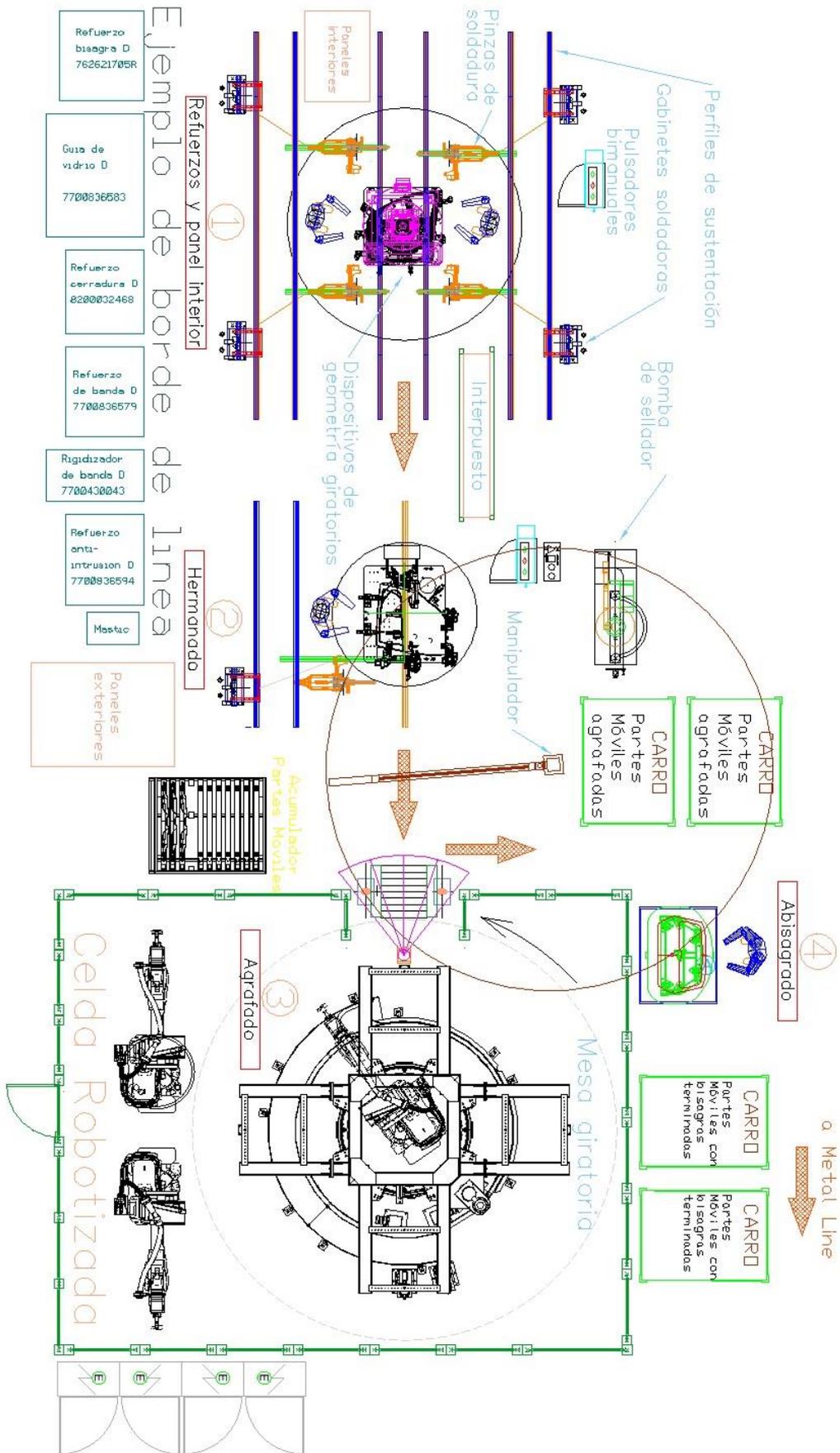


Figura 3.8 - Implantación simplificada de isla de armado de PM

Los puntos a desarrollar en una implantación son:

- Dispositivos.
- Operadores y puestos.
- Pinzas de soldadura, gabinetes y pulsadores.
- Estructura metálica y sustentación.
- Logística y borde de línea.
- Interpuestos, carros de transporte y acumuladores.
- Celdas robotizadas.
- Flujo de piezas.
- Manipuladores.
- Alimentación (electricidad, aire comprimido y refrigeración).

Como se puede ver, los puestos han sido enumerados y el flujo de piezas trazado con flechas naranjas. Los dispositivos 1 y 2 son giratorios sin asistencia y tienen bridas de apriete manuales, en cada uno de ellos pueden trabajar hasta dos operarios simultáneamente dependiendo de los tiempo ciclo necesarios.

Por otro lado, la tecnología de pinzas de soldar que se están utilizando en la actualidad son las de tipo TI (transformador incorporado), que brindan muchos beneficios frente a las antiguas TE (transformador externo). Las TE, tenían muchas desventajas: mantenimiento excesivo, mala ergonomía, insumos costosos (cables de alta intensidad de corriente), obsoletas, complicada puesta a punto. Todos estos problemas se resolvieron con las TI, pero trasladando el transformador directamente a la pinza, surgió un punto desfavorable para esta nueva tecnología, la inercia mecánica, resultado de la masa incorporada. En fin, para una secuencia de puntos contiguos, la mejor opción sigue siendo la TE por la rapidez para mover la pinza sin tener que cambiar la posición de los electrodos, y para puntos variados y alternados las TI tienen mejor resultado.

Toda pinza de soldar manual posee un gabinete, donde se conecta con el suministro de energía eléctrica, aire comprimido y circuito cerrado de refrigeración por agua, cables y conductos, que comunican el gabinete con la propia pinza, y balanceadores vinculados a perfiles fijos a la estructura en altura que sostienen el conjunto pinza-cables.

Los balanceadores se acoplan a los perfiles mediante rodamientos que deslizan por el interior de estos y permiten el desplazamiento a lo largo del perfil. Los perfiles son la sustentación de las pinzas, que le permiten desplazarlas en 'x' e 'y', como se puede ver en el plano. Los perfiles se montan generalmente con la siguiente configuración: los azules son dos guías paralelas abulonadas a la estructura metálica en altura, debajo y mediante carritos con rodamientos sostiene un puente en color verde que a la vez sustenta el balanceador y la pinza. Así la pinza está en equilibrio y el operario puede moverla libremente por los 6 ejes, gracias a sus ejes de rotación en el acople y el balanceador que regula la altura en 'z' y la rotación en el mismo eje.

De esta forma el operario puede soldar cualquier punto en el dispositivo que esté al alcance de la pinza según la disposición de las guías tanto en largo como en ancho, ya que restringen el desplazamiento. Para soldar del otro lado del dispositivo se puede optar por colocar otra pinza con su respectiva sustentación (puesto 1) o implementar un dispositivo giratorio si es viable técnicamente (puesto 2). La primera opción tiene la ventaja de permitir colocar más de un operario en el puesto, en cambio la segunda opción no lo permite pero se ahorran pinzas, sustentación, espacio y pasos del operario.

Los bordes de línea, se sitúan en las periferias de las islas de armado, allí se depositan los insumos de los puestos de trabajo, pueden ser en cajas, estanterías o racks metálicos. Todos los insumos son transportados desde los almacenes /depósitos o de un proceso previo de soldadura o embutición, mediante carros, mulas o a mano. Las cajas se trasladan encima de bases rodantes únicamente y los racks con mulas. El abastecimiento tradicional, se basa en llenar los bordes de línea con doble módulo, y asegurarse la disponibilidad para que no pare la producción. En el ejemplo del plano, se muestran todas las piezas que abastecen al primer puesto con refuerzos y al segundo puestos con paneles, faltan los doble módulo de cada referencia, pero es notable la superficie que ocuparía todo.

La operación básica de los puestos manuales 1 y 2, comienza con el operador caminando por el borde de línea tomando las piezas que le hacen falta para su puesto, si es necesario, realizar el intercambio de carros vacíos y acomodarlos. Con las piezas en mano, se llevan al dispositivo donde se localizan cada una de ellas sobre pilotos y encastres siguiendo una secuencia definida. Luego, cierra una por una las bridas manuales para asegurar la geometría del ensamble. Toma la pinza correspondiente y efectúa los puntos de soldadura, girando el dispositivo cuando sea necesario. Finalizada la secuencia de puntos, abre todas las bridas, retira la pieza con ayuda de un manipulador y la coloca sobre un interpuesto, para que el siguiente operario tome el subconjunto terminado.

Los interpuestos y acumuladores de piezas, se utilizan para transportar una pieza finalizada (subconjunto) al siguiente puesto de trabajo, evitando así el desplazamiento del operario entre puestos. Además de trasladar piezas, los interpuestos sirven como pulmones que contrarrestan las diferencias de tiempo ciclo entre puestos y permiten balancear el operador con otros puestos mientras el interpuesto se va vaciando. Volviendo a lo que es el inventario en curso, los interpuestos incrementan drásticamente este nivel, pero son necesarios, son NVAN (no valor agregado necesario), pero todo tiene un límite. Para un sistema '*push*', los interpuestos y acumuladores permiten llenarlos y seguir fabricando sin tener en cuenta el próximo puesto, hasta puede ocurrir de llenar y almacenar racks de subconjuntos incompletos. En el próximo capítulo se muestra cómo implementar y asegurarse el sistema '*pull*' en los interpuestos.

Después del puesto uno, que tiene como producto final el panel interior con sus refuerzos, se le agrega el panel exterior en el hermanado. A partir de allí, el peso del subconjunto formado, excede los límites ergonómicos para que el operario pueda extraer y cargar la pieza manualmente. Es necesario entonces, agregar una asistencia que reduzca la carga de la pieza sobre el operario. Para esta necesidad se diseñan los manipuladores, que consisten básicamente de una columna fijada al suelo con un brazo articulado que gira sobre su radio, y un balanceador o sistema neumático que toma la pieza mediante sopapas o trabas. Así el operario toma la pieza con el manipulador y puede desplazarla libremente dentro del radio de giro, sin realizar grandes esfuerzos.

El proceso de agrafado es el único robotizado de la isla. La celda robotizada consta de las siguientes partes:

- Enrejado perimetral con puerta de acceso para mantenimiento y zona de entrada y salida de piezas.
- Robots, según el *takt time* solicitado, puede haber un sólo robot y hasta tres para la misma mesa giratoria.
- Mesa giratoria, es un dispositivo giratorio que posee platos (mármoles) sobre el cuál se monta la cuna de agrafado de la pieza. Mínimamente pueden haber dos platos, uno con la cuna y otro con un contrapeso, ya que el objetivo de la mesa es independizar, por seguridad, las operaciones del robot con las del operador que carga y descarga las piezas. En el caso del plano, es una mesa cuádruple en la cual se pueden montar las cuatro diversidades de puertas.
- Cunas de agrafado, son dispositivos de geometría donde se localizan las partes móviles y se inmovilizan mediante bridas y localizadores neumáticos. Los rodillos de la cabeza del robot doblan la chapa sobre los bordes de la cuna formando el agrafado.
- PLC y gabinetes, la celda robotizada está controlada por PLC y funciona en base a la programación que se le efectuó. La celda es autónoma y en caso de falla intervienen los robotistas de mantenimiento. En el exterior de la celda se encuentran los gabinetes de alimentación y controladores, y al lado el pupitre del PLC donde se controla todo.
- Ingreso y egreso, para cargar y descargar en la celda, se abre un espacio en el enrejado donde queda libre uno de los platos de la mesa. Por seguridad, esa zona de riesgo está controlada con un sensor de presencia y un validador bimanual para activar la celda e iniciar el ciclo.

Con el hermanado acabado, se traslada el conjunto mediante manipulador hacia la cuna de agrafado en la mesa giratoria, el operador ingresa a esa zona si la baliza de señalización del PLC está en verde, de lo contrario aguarda a que finalice el ciclo de la celda. Después de fijar la pieza en la cuna, sale de la zona y valida la operación con el bimanual y el ciclo del robot inicia. La mesa giratoria rota hasta ubicar la cuna en la posición de trabajo de los robots y se ancla, seguido se da inicio

al agrafado con los rodillos como se indicó anteriormente. Finalizado el pestañado, la mesa gira nuevamente hasta el punto inicial y procede a abrir todas las bridas de cerraje dejando libre la pieza. Cambiando de rojo a verde la baliza, le permite al operario extraer el conjunto y almacenarlo en carros.

El último puesto, el abisagrado, ya fue explicado en el punto anterior. Cabe destacar que el abastecimiento del puesto se realiza mediante carros y se suelen utilizar asistencias como manipuladores. Los carros con las partes móviles completas, se almacenan alrededor de la celda para luego ser transportadas a Metal Line (línea final de chapa).

3.4 Ejemplos de Plantas

Como punto de partida para poder desarrollar ideas y soluciones, es prudente analizar e investigar previamente los procesos de empresas automotrices, siempre y cuando sea posible. Al estudiar los procesos de armado de PM de las distintas terminales automotrices, se tiene un panorama más realista y acertado de cómo funciona verdaderamente el proceso, y así interpretar los resultados del estudio con mayor grado de exactitud.

En la Argentina, puntualmente en Córdoba tenemos las plantas de Renault y Fiat como ejemplos para analizar. Fiat siendo unas de las pocas empresas que tiene como pilar fundamental la WCM, es clave entenderla y compararla con otras.

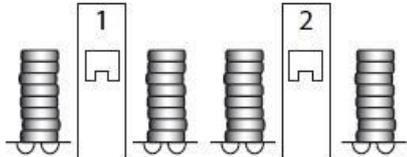
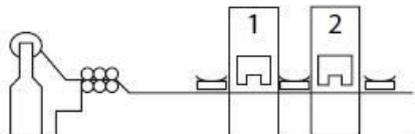
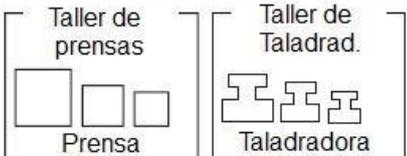
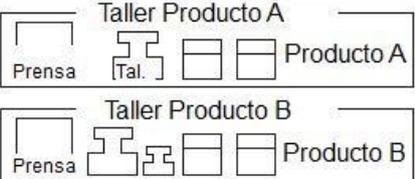
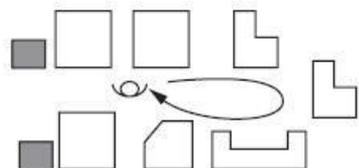
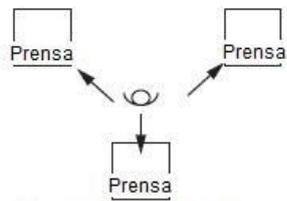
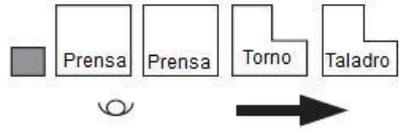
Las otras plantas en nuestro país son las de General Motors en Rosario, Ford y Volkswagen en Pacheco, Toyota en Zárate, Honda en Campana, Peugeot-Citroën en El Palomar, Mercedes-Benz en González Catán y Scania en Tucumán.

Acceder a información confidencial no fue posible en la mayoría de las terminales, sin embargo se pudieron obtener datos de Renault y Fiat.

En Renault, la planta de Santa Isabel se caracteriza por fabricar las partes móviles de cada modelo en sectores separados y en lotes. Fiat por lo contrario posee un sector de armado de partes móviles unificado que produce JIT pero el nivel de inventario es alto.

La producción de partes móviles en una terminal automotriz con X variedad de modelos, puede realizarse en dos configuraciones: agrupar por modelo o por subconjunto. Como el objetivo es obtener flexibilidad, la opción de agrupar por modelo queda descartada, conviniendo siempre agrupar por subconjunto y fabricar el modelo que se demande en ese momento.

A continuación se tomó de Schonberger (1986), un cuadro comparativo entre la producción JIT y en lotes, para remarcar los puntos débiles y favorables de cada uno:

Tipo de Producción Punto de comparación	Producción por Lotes	Flujo de Producción JIT
Aproximación al proceso	 <p>Solo agrega proceso</p>	 <p>Agrega proceso y saca a la superficie valor añadido</p>
Disposición de los equipos	 <p>Estación de trabajo</p>	 <p>Flujo en el taller</p>
Aproximación a la Racionalización	 <p>Un operario maneja varias máquinas similares</p>	 <p>Un operario maneja varias máquinas diferentes</p>
Operarios	 <p>Una unica habilidad</p>	 <p>Varias habilidades</p>
Habilidad	Operario repite misma operación	Operario repite grupo de operaciones
Inventario en Proceso	Mucho inventario	Casi sin inventario
Lead-time	Largos	Cortos
Equipos	Rápidos, propósito general, grandes, costosos, énfasis en la capacidad de utilización.	Lentos, especializados, pequeños, baratos. Con énfasis en la capacidad de utilización
Orientación Prod.	Poca variedad, grandes lotes	Gran variedad, pequeños lotes
Espacio	Ocupa mucho espacio	No ocupa mucho espacio
Aprox. a Eficiencia	Enfasis en eficiencia dentro de los procesos	Enfasis en eficiencia en toda la organización
Transporte	Requerido	No requerido
Calidad	Problemas de calidad se descubren solo después de la producción	Minimización de los defectos que causan problemas de calidad

Cuadro 3.3 – Diferencias entre producción por lote y JIT.

Capítulo 4. Armado de Partes Móviles

4.1 Demanda y volúmenes de producción

Una de las restricciones que se plantearon inicialmente, fue precisamente la necesidad de fijar los niveles de producción, para justamente poder englobar la mayor parte de plantas en el estudio y lograr resultados aplicables a la realidad.

Para ello se investigó el mercado mundial automotriz, para identificar las cifras que se manejan, los países productores, las terminales y las demandas. Luego se fijó el rango inferior y superior, definiendo así la cuota de plantas que se abarcará.

4.1.1 Estudio producción mundial

Clasif.	País	Vehiculos (2014)	% Variac. 2013-2014
1º	China	23.722.890	7,3
2º	Estados Unidos	11.660.699	5,4
3º	Japón	9.774.558	1,5
4º	Alemania	5.907.548	3,3
5º	Corea del Sur	4.524.932	0,1
6º	India	3.840.160	-1,5
7º	México	3.365.306	10,2
8º	Brasil	3.146.118	-15,3
9º	España	2.402.978	11,1
10º	Canadá	2.393.890	0,6
11º	Rusia	1.886.646	-13,6
12º	Tailandia	1.880.007	-23,5
13º	Francia	1.817.000	4,4
14º	Reino Unido	1.598.879	0,1
15º	Indonesia	1.298.523	7,6
16º	República Checa	1.251.220	10,4
17º	Turquía	1.170.445	4,0
18º	Irán	1.090.846	46,7
19º	Eslovaquia	993.000	1,8
20º	Italia	697.864	6,0
21º	Argentina	617.329	-22,0
22º	Malasia	596.600	-0,8
23º	Polonia	593.904	0,6
24º	Suráfrica	566.083	3,7
25º	Bélgica	516.832	2,6
26º	Rumania	391.422	-4,8
27º	Taiwán	379.223	12,0
28º	Uzbekistán	245.660	-0,4
29º	Hungría	227.030	2,1
30º	Australia	180.311	-16,5

Fuente: OICA.

EL PAÍS

Tabla 1 - Ranking de mayores países fabricantes de vehículos del mundo. OICA

Como se puede ver en la tabla al lado, en el 2014 el país que produjo el mayor volumen de vehículos fue China con casi 24 millones de unidades. Seguido por Estados Unidos, lejos con la mitad de la producción y Japón con cerca de 10 millones. La Argentina se sitúa en el puesto 21º con 617.329 unidades.

Los primeros 5 países tienen una gran diferencia de volúmenes uno a otro, luego los siguientes puestos hacia abajo, la disminución es gradual y sigue un comportamiento exponencial.

Mediante esta tabla, se decide estudiar las plantas que estén instaladas en los primeros 10 países y definir cuáles son los niveles máximos de producción que se pueden encontrar.

Por lo tanto, se continuó investigando con el objetivo de encontrar el top 5 de las mayores terminales del mundo, y así fijar máximos:

			Producción anual [miles]	Cantidad de modelos	PX/ vehículo
1	Ulsan, Corea del Sur	Hyundai	1 600	16	100
2	Betim, Brasil	Fiat	950	15	63
3	Wolfsburg, Alemania	Volkswagen	800	6	133
4	Togliattigrado, Rusia	Lada/Renault	600	5	120
5	Puebla, México	Volkswagen	550	4	138

Tabla 2 – Mayores terminales automotrices del mundo por volumen.

Estos fueron los valores que se encontraron, recopilando información de varias fuentes. Claramente la fábrica de Ulsan en Corea sobrepasa los niveles comunes de producción y debe ser descartada como límite superior ya que no es representativo. Las plantas de Betim y Wolfsburg son muy grandes también, con lo cual para tener un marco de referencia para comparar, se opta por analizar las plantas de países de gran Px.

Los datos que se pudieron encontrar, fueron sobre México y EE.UU. A continuación se muestran las tablas de las terminales más importantes de EE.UU. con sus respectivos volúmenes:

1. Ford (Kansas City Assembly Plant in Claycomo, MO) -	460 338
2. Ford (Dearborn Truck Plant, Dearborn, MI) -	343 888
3. Hyundai (Hyundai Motor Manufacturing Plant, Montgomery, AL) -	342 162
4. Nissan (Nissan North America, Smyrna, TN) -	333 392
5. Toyota (Georgetown, KY) -	315 889
6. General Motors (Fort Wayne, Roanoke, IN) -	307 454
7. Honda (Marysville Auto Plant, Marysville, OH) -	285 258
8. Kia/Hyundai - (Kia Motors Manufacturing Georgia, West Point, GA) -	282 316
9. General Motors - (Lordstown Complex, Warren, OH) -	279 674
10. General Motors - (Fairfax Assembly Plant, Kansas City, KS) -	279 250
11. General Motors - (Lansing Delta Township, Lansing, MI) -	277 277
12. BMW (BMW Manufacturing Co., Spartanburg, SC) -	277 074
13. General Motors (Arlington, TX) -	269 624
14. Honda - (Honda Manufacturing of Alabama, Lincoln, AL) -	264 324
15. Ford - (Chicago Assembly Plant, Chicago) -	262 730
Promedio	305 377

Tabla 3 - Ranking de terminales automotrices en EE.UU. Volúmenes Px 2011.

Los volúmenes son más razonables, la variabilidad es menor y se pueden descartar los valores de las mayores plantas del mundo como referencia, ya que no se comparan con los volúmenes que se manejan en las terminales del segundo productor mundial (Estados Unidos).

	Plantas	Cantidad de modelos	Producción [miles]	PX/ vehículo
Chrysler	Saltillo	Camiones RAM, Promaster	230	115
	Toluca	Fiat 500, Journey	300	150
Ford Motor	Hermosillo	Fusión y MKZ. Para exportación Fusión Híbrido y MKZ Híbrido.	380	190
	Cuautitlan	Ford Fiesta	324	162
	San Luis Potosí	Focus, C-Max (Probablemente)	150	75
General Motors	Ramos Arizpe	SRX, Cruze y Sonic	170	56,7
	Silao	GMC Sierra, Chevrolet 3500, Cheyenne, Silverado. Para exportación Silverado y Sierra	300	75
	San Luis Potosí	Aveo, Trax	130	65
Honda	-	CR- V	70	70
	Celaya	Honda Fit, HR-V	200	100
Kia Motors	Pesquería	Forte (Cerato)	300	150
Mazda	Salamanca	Mazda 2, Mazda 3, Scion	230	76,7
Nissan	Aguascalientes	Sentra, Versa, Note y March	450	112,5
	Cuernavaca	Camiones NP300, NP300 Frontier, Tsuru y Tiida Sedán. Exportación Chevrolet Citi Express y Nissan NV200	150	37,5
Toyota	Tecate	Tacoma	50	50
	Celaya	Corolla (Nuevo)	200	200
Volkswagen	Puebla	Beetle, Jetta (6a. Gen), Clásico (Jetta/Bora 4a Gen), Golf Variant (6a Gen)/Jetta SportWagen y Camiones Pesados	550	110
	Puebla	Golf A7	150	75
Promedios			257,44	107,94

Tabla 4 – Plantas de armado de vehículos en México.

Examinando las terminales mexicanas, se halla la quinta terminal del mundo “Puebla” de Volkswagen con 550mil vehículos, seguido por la de Nissan en “Aguascalientes” con 450mil. Todas las demás están por debajo de las 400mil unidades anuales. La columna de PX/ vehículo indica la producción por modelo suponiendo que las proporciones entre modelos es equitativa.

Comparando los datos entre el segundo y el séptimo productor mundial de vehículos, se encontró un cuadro comparativo actualizado del 2013, donde los valores de las terminales norteamericanas son considerablemente mayores, debido muy probablemente a la recomposición de la crisis del año 2009, en que la producción se había desplomado.

FABRICACIÓN AUTOMOTRIZ EN 2013

PLANTA ENSAMBLADORA	UNIDADES
Volkswagen Puebla, México	516,146
Toyota Georgetown, Ky.	504,313
Honda Marysville, Ohio	492,409
Nissan Smyrna, Tenn.	483,500
Nissan Aguascalientes 1 (México)	448,945
Honda Alliston, Ontario	408,124
Hyundai Montgomery, Ala.	399,495
Ford Louisville	377,737
Ford Hermosillo, México	375,588

Cuadro 4.1 – Comparativo entre terminales mexicanas y norteamericanas

4.1.2 Selección de rangos de producción y escalones

Antes de pasar a la selección de rangos, se explica brevemente la parte teórica de los tiempos de fabricación.

En las terminales automotrices antiguas, era común que se trabajen los tres turnos, ya que no se le daba suficiente importancia al mantenimiento preventivo, ni a producir lo justo y necesario, se focalizaba en que las máquinas eran costosas y se debían amortizar pronto, además de carecer flexibilidad. Ese paradigma ha ido cambiando y hoy en día una terminal moderna trabaja dos turnos y el tercero lo reserva para mantenimiento, horas extras y modificaciones en la línea. Este PI opta por el enfoque moderno: 2 turnos de trabajo + 1 turno reserva.

Cada turno de trabajo en Argentina, posee 8,8 horas disponibles de las cuales 1 se reserva para almuerzo/cena, descansos y merienda. Las horas productivas reales de trabajo entonces son de **7,8 horas**. Por otro lado los días hábiles de producción anual promedio son de 250 días.

Luego de corroborar los datos anteriores, se procede a elegir el rango superior e inferior con el cual se trabajará en este proyecto. Para el límite superior, ya se definió que los volúmenes de las 5 mayores plantas del mundo no representan a la mayoría, por lo cual fueron descartadas. Tomando el cuadro comparativo 4.1, podemos ver que el promedio de volúmenes es de 450 mil vehículos al año, que se acerca al nivel de la terminal de Ford en la tabla 3. Por tal motivo, se decide elegir el rango superior de 400 mil vehículos al año en dos turnos de producción, es decir, 200 mil vehículos por turno. Esta elección es representativa, ya que refleja el volumen de una terminal de gran envergadura en un país que está dentro de los cinco mayores productores del mundo. Cabe destacar que esta cifra no se aleja por mucho a la de Volkswagen-Puebla con 550 mil, siendo la quinta mayor del mundo.

Sólo un ínfimo porcentaje de las terminales en el mundo superan la barrera de los 500 mil, todo el resto se sitúa por debajo de esta cota, y para acercarse a un volumen promedio alto se opta por 400 mil, abarcando más del 95% de las terminales.

Para el límite inferior, los valores son variados, pero podemos tomar como ejemplo la planta de Honda en México con 70 mil o mejor aún la planta de Renault Santa Isabel aquí en Córdoba con una capacidad máxima de fabricación de 80 mil vehículos. Obviamente existen plantas menores, pero conceptualmente rara vez se realizan proyectos de un modelo para volúmenes inferiores a 20 mil vehículos (20.000 x 4 modelos = 80.000). Por tal motivo se opta como suelo de producción 80 mil automóviles por turno. No se lo realiza en dos turnos porque pasarían a ser 40mil, y por esa cantidad siempre se evitará de utilizar el segundo turno ya que sería un desperdicio e ineficiente.

Teniendo ya definido los límites, por turno tendremos desde los 80.000 hasta los 200.000, y para poder interpolar con mayor precisión se fijarán intervalos de 40.000, en consecuencia resultarán cuatro volúmenes de producción a analizar:

Límite inferior	80 000
Valores intermedios	120 000
	160 000
Límite superior	200 000

Tabla 5 – Volúmenes de producción por turno definidos para el estudio.

4.1.3 Mix de producción

En las terminales automotrices donde se fabrican más de un modelo, suelen fijar un mix de producción, que les permite sincronizar la línea con la demanda del cliente. Es decir, a la hora de producir un lote de 10 autos por ejemplo, se define cual es la proporción que se debe fabricar del modelo A y B para satisfacer el pedido del área comercial.

El mix de producción podría simplificarse en gran medida, suponiendo que las cantidades de modelos A y B son equitativas. Pero plantear una producción nivelada con 50% de A y 50% de B no es real, no refleja un comportamiento típico de la demanda ni de una línea de ensamblaje. Y en consecuencia, los resultados no serían representativos de la realidad.

Para aproximarse a la práctica, tomaremos la regla 4-3-2-1 con base en la regla de Pareto 80-20, que representa un comportamiento de la demanda típico, aplicable para nuestro caso que posee cuatro modelos: J1, J2, J3 y J4. La relación es sencilla, 40% para J1, 30% para J2, 20% para J3 y 10% para J4. Por lo tanto, esta regla se respeta para cualquier tamaño de lote de producción, siendo para JIT la más pequeña posible, y **10** para este PI.

4.1.4 Tiempos y cadencias

Para concluir, las tablas a continuación muestran las cadencias y tiempos ciclo necesario para cada una de las líneas de demanda:

Demanda por año	<i>por turno</i>		[Cmin]			
	Por día (250 días de px)	Cadencia x hora [v/h]	Takt time con eficiencia 95%	Takt time con eficiencia 90%	Takt time con eficiencia 85%	Tiempo máquina
10 000	40	5,13	1099,6	1041,8	983,9	1157,5
15 000	60	7,69	733,1	694,5	655,9	771,7
20 000	80	10,26	549,8	520,9	491,9	578,8
25 000	100	12,82	439,9	416,7	393,6	463,0
30 000	120	15,38	366,5	347,3	328,0	385,8
35 000	140	17,95	314,2	297,6	281,1	330,7
40 000	160	20,51	274,9	260,4	246,0	289,4
45 000	180	23,08	244,4	231,5	218,6	257,2
50 000	200	25,64	219,9	208,4	196,8	231,5
60 000	240	30,77	183,3	173,6	164,0	192,9
70 000	280	35,90	157,1	148,8	140,6	165,4
80 000	320	41,03	137,5	130,2	123,0	144,7
90 000	360	46,15	122,2	115,8	109,3	128,6
100 000	400	51,28	110,0	104,2	98,4	115,8
125 000	500	64,10	88,0	83,3	78,7	92,6
150 000	600	76,92	73,3	69,5	65,6	77,2
200 000	800	102,56	55,0	52,1	49,2	57,9
250 000	1000	128,21	44,0	41,7	39,4	46,3

Tabla 6 – Cadencias y tiempos ciclo según volumen de Px.

Al Takt Time antes explicado, se le agrega el concepto de factor de eficiencia 'E'. El propósito es definir el tiempo necesario real que el puesto de trabajo debe tener para cumplir con la planificación de Px. De las 7,8hrs disponibles, la variabilidad del operario, sumado a las diferencias de habilidades y destreza, impiden cumplir el TT inicial, con lo cual los puestos de trabajo y operaciones deben ser diseñadas teniendo en cuenta esta pérdida en eficiencia, ya que el TT es ideal con E=1. La fórmula expresada en centiminutos: $TT_{neto} = \frac{\text{Tiempo disponible [Cmin]}}{\text{Producción diaria p/turno}} \times E$

Como E varía de 0 a 1, el TT_{neto} es menor. Esto quiere decir que el puesto debe adaptarse a la eficiencia del operario, de lo contrario si se le exige un TT_{bruto} con E=1, nunca se llegará a la producción solicitada. En la tabla se han colocado tres distintos valores de E, al 95%, 90% y 85% dependiendo de los puestos y la complejidad de la operación.

La cadencia se calcula en base a las 7,8 hrs disponibles y el Tiempo máquina representa el tiempo ciclo que debe tener la celda robotizada para llegar a la producción con una eficiencia del 100%, suponiendo que no hay fallas.

Por último, la siguiente tabla muestra los niveles de fabricación de cada modelo siguiendo la regla 4-3-2-1, para cada uno de los intervalos de volúmenes totales. Con estos valores, obtenemos los tiempos ciclo necesario para los puestos de armado de partes móviles, volcándolos en la tabla anterior.

[miles]	Modelos			
PX	J1	J2	J3	J4
80	32	24	16	8
120	48	36	24	12
160	64	48	32	16
200	80	60	40	20

Tabla 7 – Px por modelo y volumen total mediante regla 4-3-2-1.

4.2 Métodos de fabricación

Con los volúmenes de producción definidos para el diseño y el mix de fabricación impuesto como input, continuamos con el análisis de los métodos de fabricación. Desde el inicio con el resumen del PI, se mencionaron los términos JIT y ráfaga. Si bien, ambos hacen referencia a la fabricación, no se pueden considerar métodos sino más bien tipos de fabricación, resultante de las posibilidades que tienen los procesos para fabricar de una u otra forma. Es decir, los procesos están restringidos por la naturaleza de las operaciones, por ejemplo embutición por más SMED que se aplique a las matrices no van a dejar de fabricar en lote, ya que las pérdidas son enormes si se implementa JIT. Hay ciertas situaciones en que el inventario es menos costoso, por más daño que haga, en comparación con JIT, por ejemplo embutición, hornos de fundición, pintura y todo aquel proceso en que el costo de parada y arranque son enormes.

En este capítulo, justamente se trata de explicar los dos métodos de fabricación disponibles que se tienen para producir las partes móviles. Una de ellas son las islas independientes, en la cual cada modelo posee su línea. La otra son las islas flexibles con dispositivos intercambiables que permiten fabricar varios modelos en la misma línea.

Es importante destacar el cliente interno que poseen las partes móviles en la planta. Este es el Metal Line, el cual tiene como principal insumo las PM para terminar de armar las carrocerías. Al ser el cliente final, se debe adaptar el proceso y la producción a su demanda, esto es, abastecer la línea justo a tiempo.

Otra restricción, o mejor aún, condición que se agrega es el comportamiento del Metal Line como cliente. Se supondrá que es un proceso ideal, que trabaja de forma sincronizada siguiendo estrictamente el mix de producción 4-3-2-1, y no permite el desfasaje con sus insumos ni las carrocerías que ingresan a su línea. Por lo tanto, el abastecimiento debe ser JIT para poder satisfacer la demanda. Ahora bien, se verá como diseñar ambos métodos de fabricación para poder cumplir con este requisito.

4.2.1 Islas independientes

Las islas independientes, en el caso de este proyecto, son cuatro líneas de producción diferidas para cada modelo: J1, J2, J3 y J4. Las operaciones 1, 2 y 4 son propias de cada línea, solo el agrafado se realiza en la celda robotizada con las cuatro cunas juntas, generando así un cuello de botella.

Al tener la celda común para los cuatro modelos, el flujo de piezas se cruzan allí, con lo cual se buscará reducir las distancias y así minimizar los desplazamientos. La forma más eficiente de distribuir las líneas es reagrupándolas en dos grupos de dos, separadas por una calle que permita el abastecimiento de piezas. Así se conforman dos rectángulos paralelos que se unen al final con la celda robotizada.

Los bordes de línea tienen todos doble módulo para no carecer de piezas en el recambio de carros. Se sitúan en la periferia al límite con las calles y a una distancia suficiente para permitir el paso de los trabajadores. Para abastecer tanto carros como racks se precisan de mulas, por eso es que las calles deben tener un ancho de: 3m calle + 1m senda peatonal.

Para trasladar las piezas luego de la operación 2 de hermanado, se utilizan carros para abastecer la boca de ingreso/egreso de la celda de pestañado. Allí hará falta un operario que realice la tarea de carga y descarga de las cunas.

El abisagrado se realiza de la misma forma que en el plano inicial (figura 3.7), solo que se le agregan los tres dispositivos que faltan alrededor del enrejado de la celda, y la cantidad de carros se multiplica de igual manera.

Los carros de logística tienen capacidad para 10 partes móviles cualesquiera sean, puertas, capots o baúles. Así se asegura el lote mínimo del mix de producción respetando las proporciones y abastecer directamente con un solo carro el puesto correspondiente en la línea de chapa. Como se puede ver en la figura 4.1, luego del abisagrado independiente de los modelos, quedan los carros llenos con un solo modelo, este problema se resuelve posteriormente. Por el momento se le adiciona una operación extra fuera de la isla, donde se trasvasan los carros para formar uno con el mix preparado para Metal Line.

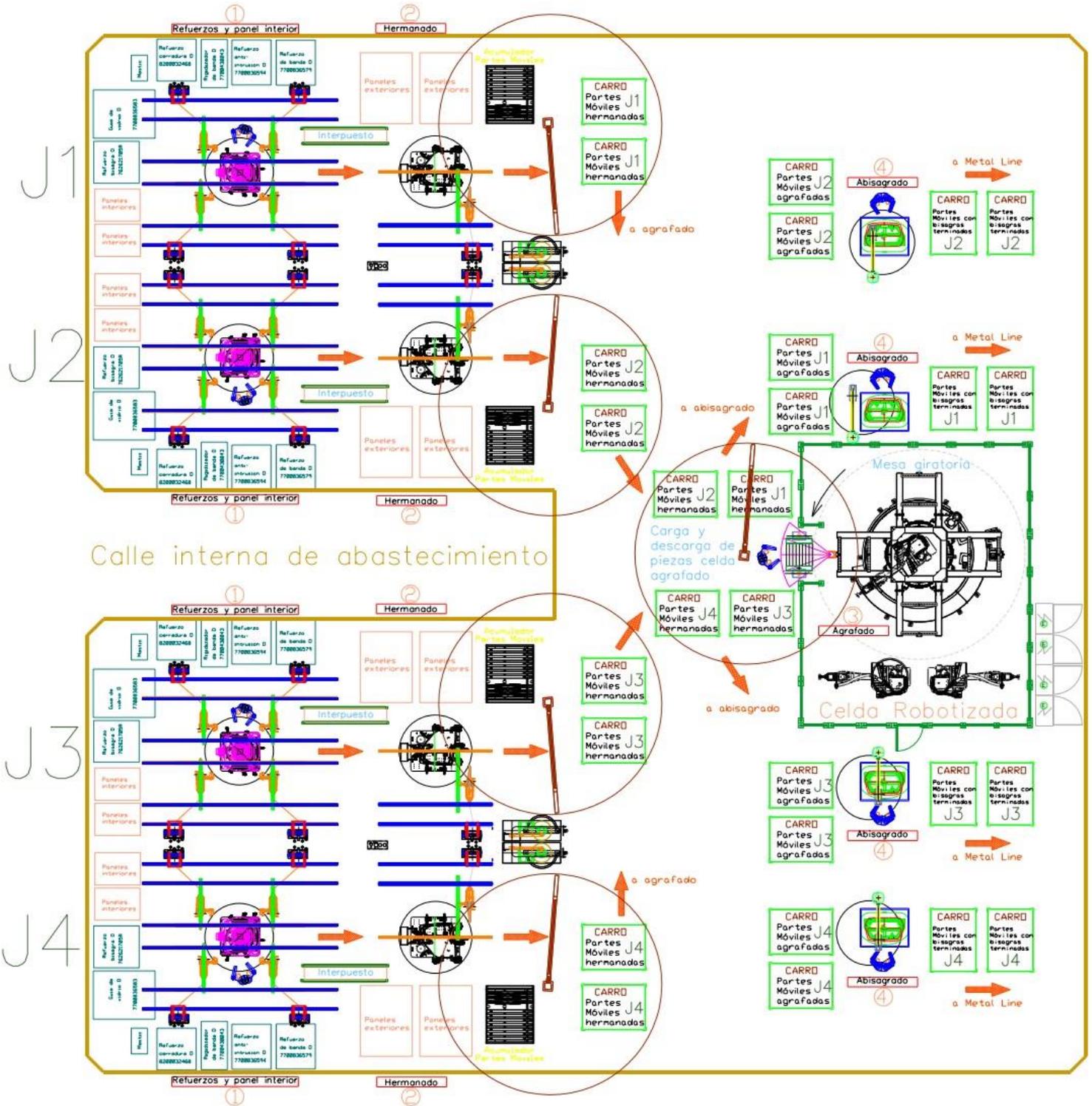


Figura 4.1 – Implantación de las islas independientes de armado de PM con los 4 modelos.

Con esta configuración de los dispositivos y puestos, se puede balancear el conjunto de la isla para los 4 modelos. La proximidad de los dispositivos permite que los operarios se muevan de uno a otro intercambiándose de modelo para producir en base al mix solicitado. Por ejemplo, para los operarios del puesto 1, el ciclo de trabajo de ellos puede ser el siguiente: respetando el lote de 10 piezas, harán 4 en J1, luego 3 en J2, se desplazan a J3 para fabricar 2 y finalmente en J4 producen una sola pieza, nuevamente inicia el ciclo volviendo a J1. Lo mismo sucede con los puestos de hermano (puesto 2) y el de abisagrado (puesto 4).

En el capítulo 4.4 de estudio de tiempos, se analizarán los balanceos y desplazamientos de los operarios. Por el momento, el diseño de la isla independiente tiene como resultado las siguientes distancias entre puestos (estas distancias valen para los puestos de refuerzos y hermano, 1 y 2):

De J1 a J2	6 m
De J2 a J3	10 m
De J3 a J4	6 m
De J4 a J1	22 m

Tabla 8 – Distancias entre puestos de trabajo.

4.2.2 Islas flexibles

La segunda opción para la isla de armado de PM, es optar por una isla flexible, donde en una única línea se arman los 4 modelos. Esto se logra mediante los dispositivos intercambiables para los puestos de refuerzos, hermano y abisagrado, con excepción de la celda robotizada que ya posee instaladas las 4 cunas sobre la mesa giratoria. Para resumir el concepto, en una isla flexible se producen los 4 modelos: J1, J2, J3 y J4, todo en la misma línea con las mismas instalaciones, solo que en tiempos diferidos, en un momento se fabrica un modelo y luego de intercambiar los dispositivos, se fabrica el otro modelo.

Una isla flexible, es muy similar a la isla simplificada que se diseñó al inicio en la figura 3.7. consta de las mismas instalaciones (pinzas, interpuestos, bombas, manipuladores, borde línea, etc.), sólo que se agregan espacios para la maniobra de intercambio de platinas y el almacenamiento de dispositivos. Un asunto que no se abarcará, es el análisis de la compatibilidad/flexibilidad de cada herramienta del proceso ya que no repercutirá en el estudio global. Esto ocurre con los pasajes de pinza, las pistolas de sellador, los interpuestos, los manipuladores, los carros, la disposición del borde de línea con diversidades de piezas, entre otras cosas. La viabilidad de compatibilizar todos estos factores para la convivencia de los cuatro modelos existe, por eso se dará por sentado la factibilidad de la isla flexible, sin estudiar casos particulares.

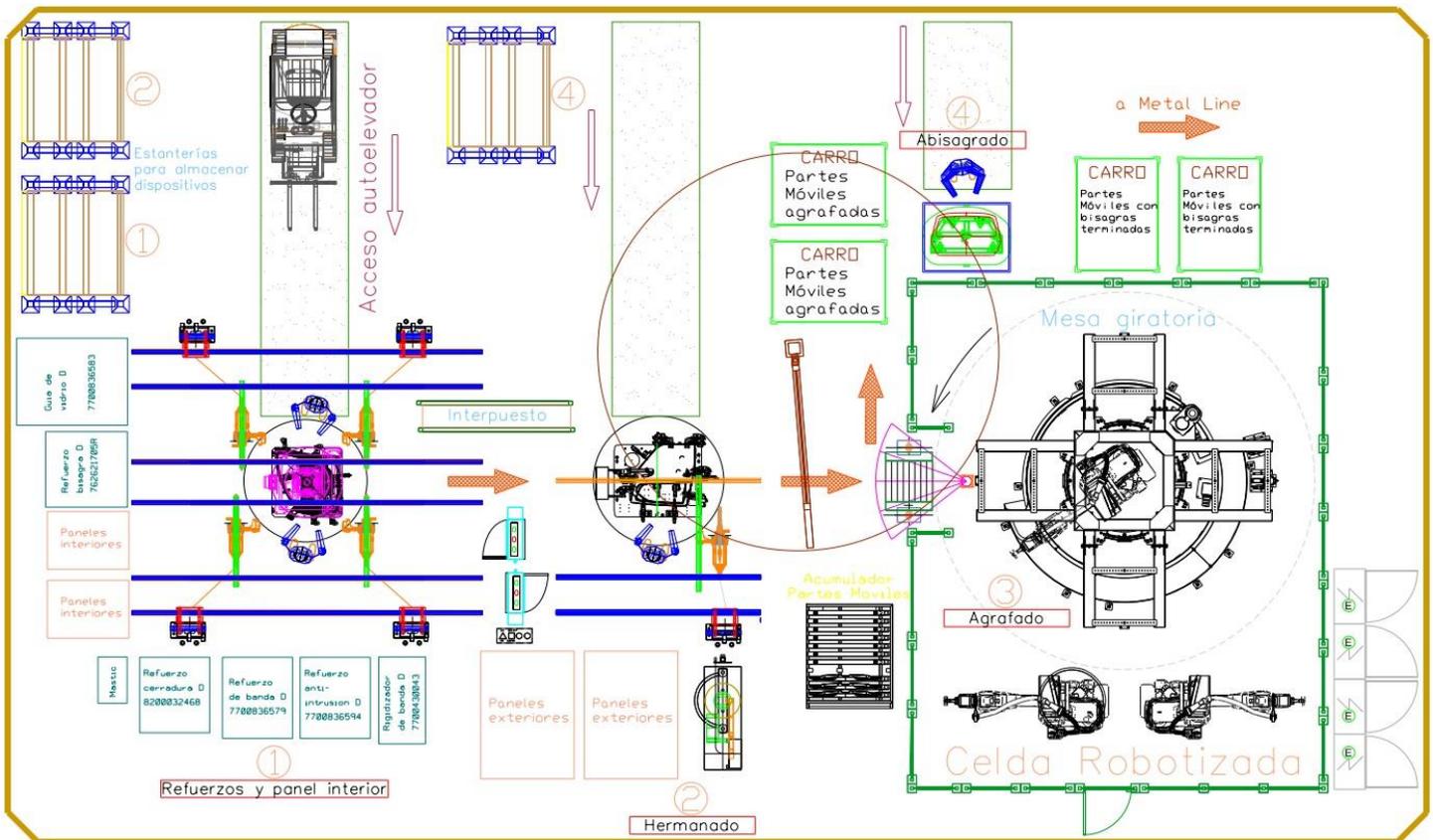


Figura 4.2 – Implantación de la isla flexible de armado de PM para los 4 modelos.

Desde un punto de vista teórico, uno puede decir que esta isla puede producir en forma JIT y abastecer la línea de chapa en forma sincronizada. Esto sería, intercambiando los dispositivos siguiendo el mix con la proporción 4-3-2-1 y un lote de piezas igual a 10. Vendría a ser lo mismo que las islas independientes, con la diferencia que en vez de desplazarse de una línea a otra, se debe efectuar el *set-up* de intercambio.

Allí reside la gran restricción que posee esta alternativa. El tiempo de *set-up*, es aproximadamente 10 veces mayor al tiempo que tarda el operario en desplazarse a otro puesto. En consecuencia, la pérdida de producción que se tendría al finalizar el turno por la acumulación de *set-up*, sería muy alta e inviable. Por lo tanto, las islas flexibles no pueden implementar JIT sin tener que generar un stock intermedio con la línea, donde se rearmen carros para cumplir con el mix preestablecido.

Llevando la idea anterior a la práctica, la respuesta es producir en ráfaga o por lotes. En el mundo del intercambio de herramientas, la operación de cambiar un dispositivo de geometría es una de las más lentas y difíciles de aplicar SMED. Los tiempos de *set-up* pueden variar entre 2 minutos hasta los 12 minutos dependiendo del tamaño y complejidad del dispositivo. Incluso aun aplicando SMED, no se obtienen resultados que permitan JIT, con lo cual se está obligado a trabajar en lotes.

Para estos procesos, se toman lotes grandes de producción para efectuar un único ciclo de cambio de dispositivo por turno. Para ello es necesario tener un stock que cubra la producción entera del turno de trabajo, que permita el abastecimiento sincronizado con la línea.

Entonces, el volumen de producción diario, es la cantidad de stock intermedia necesaria para satisfacer la demanda correctamente. A continuación, se muestra la superficie que ocupa el stock de carros (10 piezas c/u) para cada volumen que se estudiará:

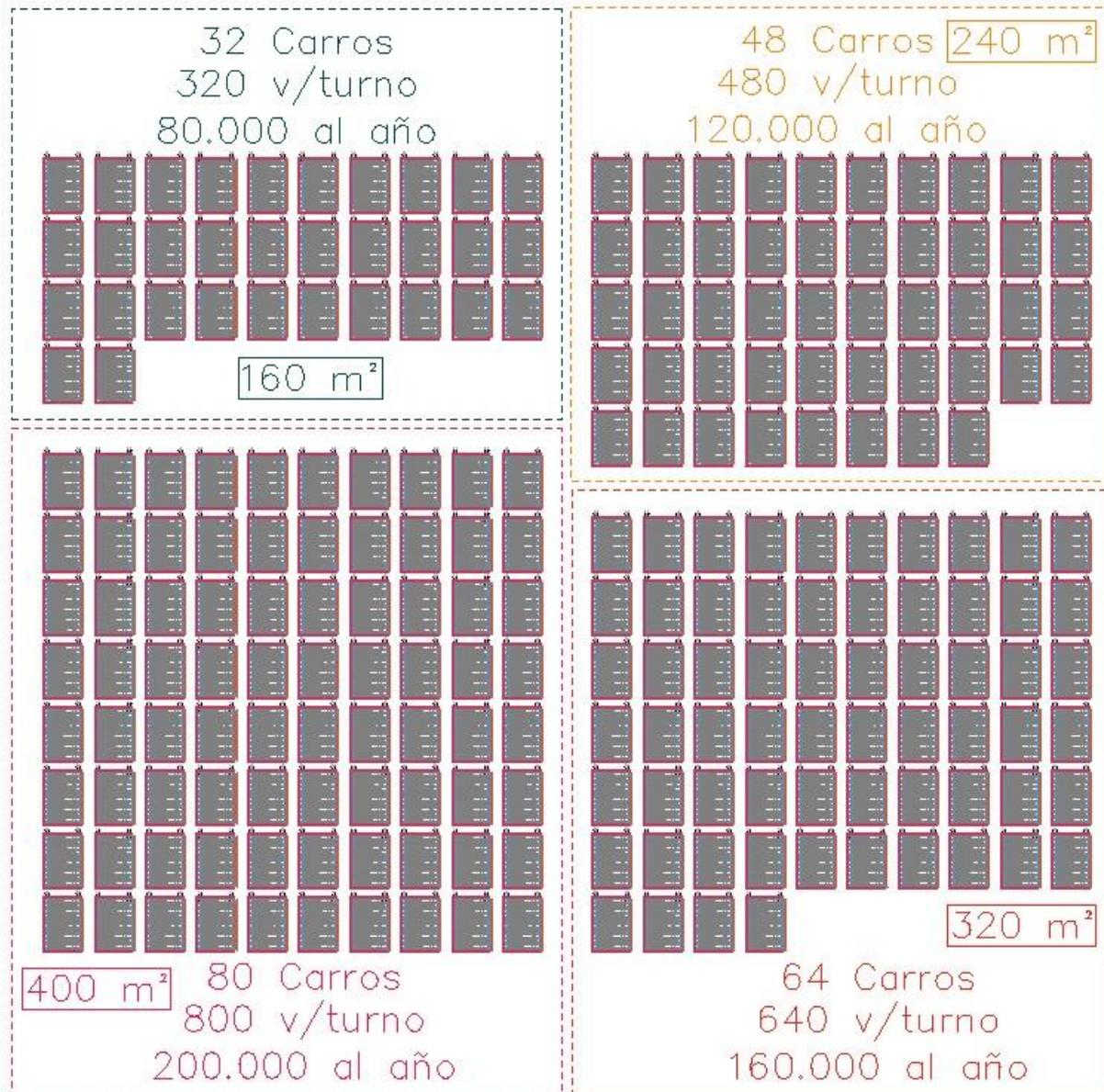


Figura 4.3 – Stock intermedio para producción en lote.

La superficie acumulada por el stock intermedio tiene la mitad del tamaño de la propia isla de armado para 80.000 al año, lo cual genera un gran costo a analizar en el capítulo 6.



Figura 4.4 – Ejemplo carro de puertas.

El diseño de los carros se efectuó para trasladar hasta 10 piezas, en el siguiente ejemplo tenemos un carro para puertas delanteras, de dimensiones 1,5 x 2,2 metros.

Como se puede ver, al trabajar en ráfagas, se van acumulando carros de los mismos modelos sin secuenciar. Para eso, hace falta un grupo de operarios que realicen este secuenciado, y armen un carro con las proporciones del mix, para luego trasladarlo al borde de la línea de chapa.

Otro factor a tener en cuenta es el borde de línea de la isla flexible. Las piezas de los distintos modelos deben estar próximas del puesto y listas para ser intercambiadas cuando haya cambio de platina. Como no se puede entorpecer la periferia del puesto con carros, solo se dejaron los que correspondan al modelo que se esté fabricando, el resto de las tres diversidades de borde de línea se los almacenará enfrente de la isla, como se puede apreciar a continuación:

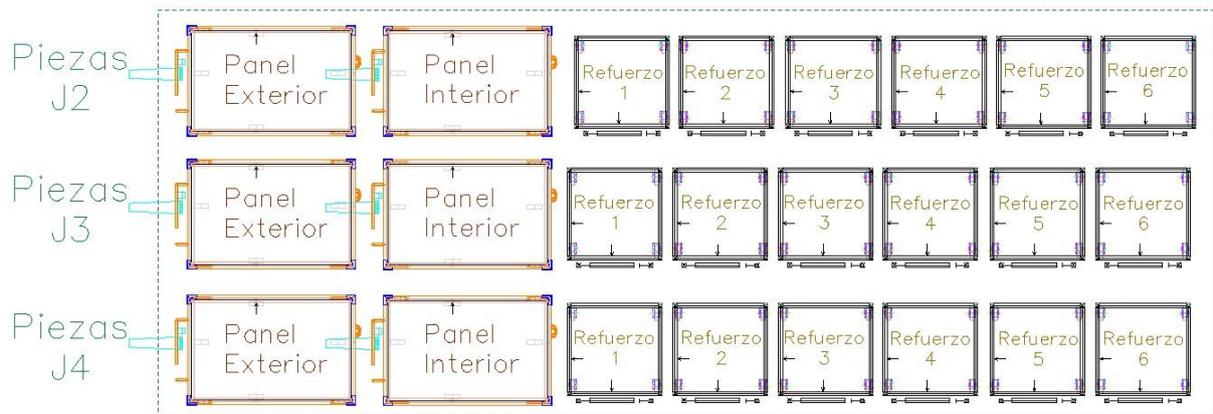


Figura 4.5 – Stock de borde de línea restante.

No se colocan los doble módulo, ya que solo es necesario asegurar las primeras piezas en el tiempo de *set-up*. El conjunto de carros ocupa una superficie de 80 m², sin tener en cuenta el espacio para permitir el acceso a las mismas.

El intercambio de dispositivo, es esencial en este proceso, por tal motivo se debe reducir el tiempo de *set-up* al mínimo para cumplir con el volumen solicitado. SMED, es la herramienta que permite lograr este objetivo, pero antes de debe conocer cómo funciona la operación de intercambio de platina. A comparación de un dispositivo de geometría común, lo único que difieren con el intercambiable es la base, la parte del mármol con torres, bridas y pilotos es la misma. La platina se acopla con la base fija al suelo mediante encastres que pueden variar, pero todos

poseen un mecanismo de sujeción que asegura la inmovilidad del bloque. La base consta de pies abulonados al suelo, un bloque de unión, un eje libre y la platina de apoyo encima donde se acopla el dispositivo. Tanto para la colocación como para la extracción, se utiliza un autoelevador que levanta el dispositivo mediante uñas.

Los dispositivos de los otros modelos que no están instalados, se almacenan en estanterías al lado del puesto junto con el autoelevador. La operación de intercambio es sencilla, primero la línea debe detenerse por completo al llegar a la cantidad preestablecida del lote, seguido de esto se desvincula la platina de la base para que el mulero ingrese al puesto para extraerla y depositarla en una estantería vacía. Luego toma el dispositivo del modelo que se debe fabricar en el próximo lote y vuelve al puesto para colocarlo sobre la base. El autoelevador se retira, los operarios rearmen el borde de línea para el modelo instalado y se puede reanudar la producción. Tanto el estudio de tiempos como la aplicación de SMED, se desarrollará en el capítulo 4.4. A continuación se muestra una animación del proceso de intercambio:

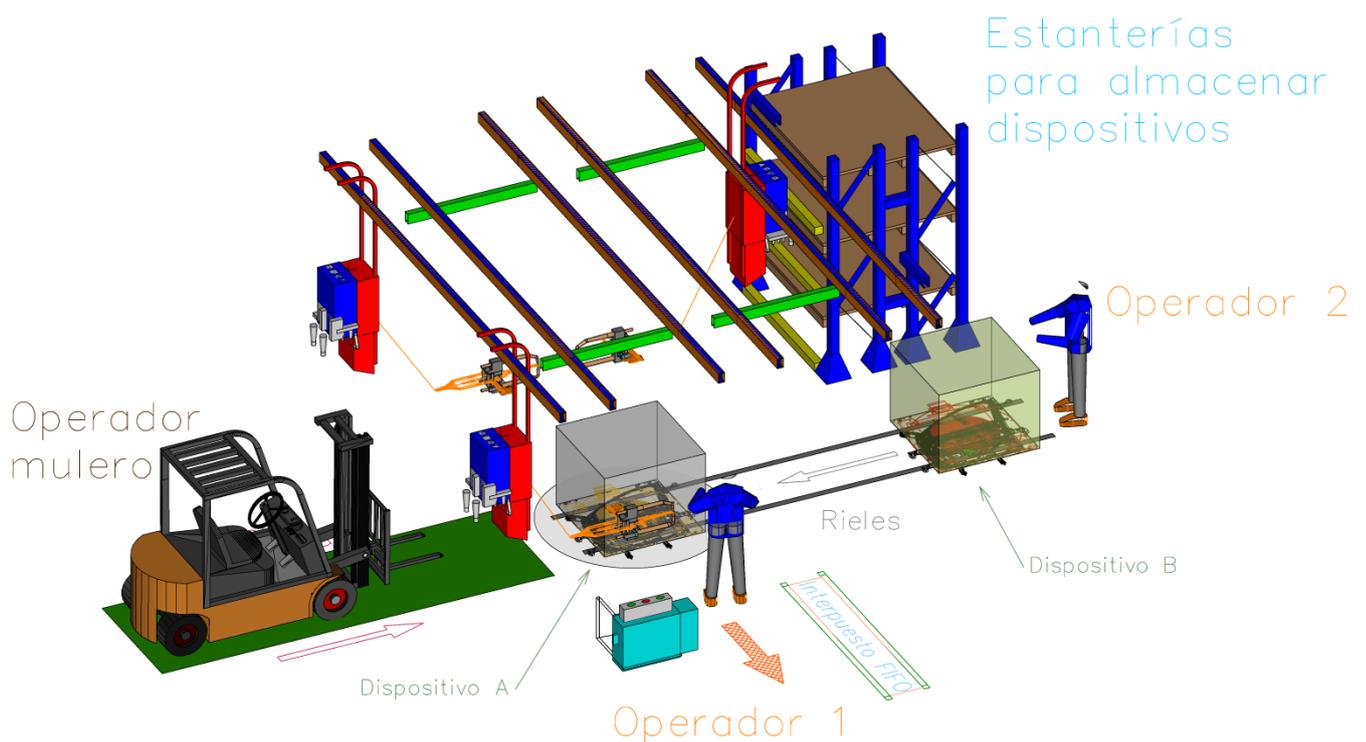


Figura 4.6 – Intercambio de dispositivo SMED.

Ventajas y desventajas de los métodos

Para que se comprenda mejor, se efectuó un cuadro comparativo de los dos métodos de fabricación planteados, focalizando los puntos positivos y negativos de cada uno:

Islas Independientes	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Gran flexibilidad de balanceo de operarios. - Capacidad para producir JIT. - Stock intermedio mínimo. - Capacidad para grandes volúmenes, aumentando los MOD. - Diseño de puestos propio para cada modelo y adaptada a la línea. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gran superficie ocupada de proceso. - Alta inversión inicial. - Cantidad alta de máquinas y requiere mayor mantenimiento. - Distancias logísticas mayores.

Islas Flexibles	
<u>Ventajas</u>	<u>Desventajas</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Mínima superficie ocupada de proceso. - Baja inversión inicial. - Mantenimiento reducido. - Flexibilidad para acomodarse al mix de producción. - Distancias logísticas menores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Restricción de volumen de Px. - Inviabilidad de aplicar JIT. - Alto nivel de stock intermedio necesario. - Set-up intercambio (tiempo muerto). - Mayor número de MOD para operaciones extras de secuenciado y logística. - Compleja puesta a punto de puestos para la diversidad de modelos. - Baja eficiencia de puestos de trabajo.

Cuadro 4.2 – Cuadro comparativo de métodos de fabricación. Ventajas y desventajas.

Claramente no se puede identificar a primera vista una opción más conveniente, ya que ambas poseen factores beneficiosos como perjudiciales para una fábrica. Lo que sí es seguro, es que la elección dependerá de la cadencia de Px, y alguna de las dos será más favorable para ciertos contextos.

Después de definir los estudios de tiempo, balanceos y simulaciones, se podrá realizar una comparación económica que definirá indefectiblemente la mejor elección a tomar para distintos panoramas.

4.3 VSM. Proceso tradicional y futuro con mejoras

La metodología VSM, en inglés *Value Stream Mapping* o mapa de la cadena de valor, basada en el Mapa del Flujo de Materiales e Información de Toyota, es un modelo gráfico que representa la cadena de valor, mostrando tanto el flujo de materiales como el flujo de información desde el proveedor hasta el cliente. Para este proyecto, se tiene como proveedor al departamento de embutición o un proveedor externo, y como cliente el Metal Line.

Se denomina “corriente de valor” (*value stream*) de una familia de productos al conjunto de procesos que contribuyen a transformar la materia prima en producto terminado. La corriente de valor comprende actividades que aportan valor (VA), actividades que no aportan valor pero son necesarias (NVAN) y actividades que no aportan valor y son innecesarias (NVAI).

El VSM facilita, de forma visual, la identificación de las actividades que no aportan valor añadido al negocio con el fin de eliminarlas y ganar en eficiencia. Es una herramienta sencilla que permite una visión panorámica de toda la cadena de valor.

La metodología VSM comprende los siguientes pasos:

1. Seleccionar una familia de productos.
2. Realizar el mapa de la situación actual.
3. Plantear ideas de mejora.
4. Realizar el mapa de la situación futura.
5. Identificar los bucles *pull* en el mapa de la situación futura.
6. Confeccionar un plan de mejora de la corriente de valor.

4.3.1 VSM de proceso tradicional ‘push’

Inicialmente se plantea un VSM para la isla simplificada de armado de partes móviles (familia de productos: PM), en la cual se trabaja con un flujo de producción *push*, y en consecuencia ineficiente para la metodología Lean.

Esta isla como ya se mencionó, posee varios inconvenientes que disminuyen la eficiencia de la misma. El mayor problema reside en el inventario intermedio que existe entre los puestos de trabajo, sin control de la producción al tener posibilidad de llenar carros si los puestos siguientes se detienen. Por otro lado no se trabaja en forma de célula de producción, sino que son operaciones aisladas, que reciben información del control de Px independientemente. El abastecimiento logístico se concentra en el depósito que distribuye las piezas hacia los puestos mediante carros individuales con doble módulo.

Todos estos puntos mencionados se resumen en el siguiente mapa:

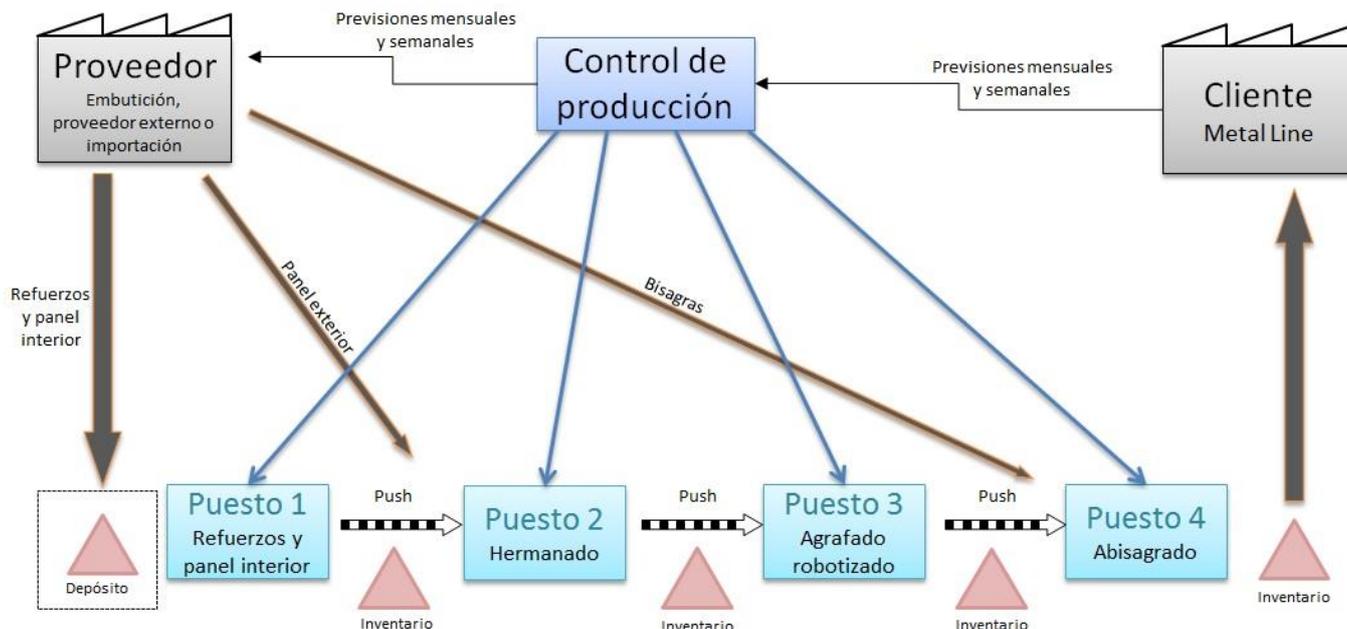


Figura 4.7 – VSM proceso tradicional.

4.3.2 VSM Ideal con mejoras

Primero se deben identificar los inventarios a eliminar entre procesos, formando células de trabajo y agrupando puestos. Con ayuda del plano de la isla simplificada figura 3.7, se pueden reagrupar los puestos 1 y 2 de refuerzo + panel interior + panel exterior, en una única célula de trabajo eliminando los interpuestos y solo dejando el espacio para apoyar dos piezas, para que no se interfieran los trabajos y haya continuidad.

Siguiendo con el proceso, en vez de utilizar carros para acumular y trasladar piezas a la celda robotizada se instalan interpuestos FIFO, que restringen la cantidad de piezas al mínimo sin detener el flujo. De esta forma, se elimina el traslado, ya que el abastecimiento es directo y no es necesario un operario que mueva los carros.

La celda robotizada genera un problema al restringir el flujo de piezas por una sola entrada y salida. Esto, como ya fue explicado, no puede modificarse porque por seguridad del operario la pieza no puede extraerse de la celda por otra salida ya que la rotación de la mesa giratoria puede ocasionar un accidente. La solución a este inconveniente es utilizar una extracción automática con succionadores neumáticos que toman la parte móvil, una vez finalizado el ciclo, dentro de la celda y la retiran fuera del enrejado dejándosela lista al operario de abisagrado sin necesidad de carros ni traslados.

Asegurando así el flujo de salida del puesto de agrafado y eliminando el stock, falta resolver el puesto de abisagrado que tiene como resultado otro problema. Al ser dispositivos individuales y separados por cuestiones de espacio, cada puesto tiene

su carro destinado a Metal Line, es decir, los carros se llenan con una sola variedad de pieza y en consecuencia para cumplir el mix solicitado por el cliente, se debe agregar una operación extra para suplir este inconveniente. Es notoriamente ineficiente este puesto, y para resolverlo surge como solución implementar un dispositivo híbrido de abisagrado, que pueda utilizarse para los cuatro modelos. Esta opción es viable técnicamente, porque la operación básica de abisagrado no requiere de tantas referencias geométricas para localizar la bisagra, además de ser un dispositivo pequeño con pocas bridas.

Con este cambio, el puesto se reduce a un solo dispositivo que puede estar lo más próximo de la celda y de la extracción de piezas. El resultado al final de la operación es un carro con las piezas directamente secuenciadas según el mix, que van derecho al borde del Metal Line sin modificaciones. En síntesis, se redujeron los carros a unos pocos, se eliminó la operación extra de secuenciado y se aseguró el abastecimiento JIT al cliente.

Resta analizar el flujo de piezas desde el depósito y el borde de línea de la isla. Primero, el borde de línea del armado de partes móviles es demasiado extenso por su gran cantidad y variedad de piezas que requiere. Agregando la necesidad del doble módulo, la superficie ocupada por carros supera niveles razonables, es allí donde se genera la necesidad de reducir el inventario. La solución más utilizada para estos casos es el *Full Kitting*, basada en utilizar un solo carro por puesto con todas las piezas requeridas por este. Tiene muchas ventajas, por un lado se reduce drásticamente el espacio de borde de línea, la distancia para tomar las piezas es menor con respecto al dispositivo, los carros están diseñados para el lote de producción óptimo y el tiempo ciclo disminuye, pero por otro lado genera una operación extra en el depósito para realizar el trasvaso de piezas. En fin, para la isla en sí es excelente opción, faltaría llevar este concepto hacia el mismo proveedor para que vengan ya en full kitting y evitar el trasvaso en planta.

Terminando la parte logística, queda lo más importante para asegurarse un flujo *pull*, el Kanban. Se implementará un Kanban de transporte para los carros de *full kitting* y un Kanban de producción entre el supermercado de piezas terminadas y la célula inicial de producción. Por último, ya Control de producción no tendrá que vigilar cada proceso, solo tendrá que realizar dos tareas:

- Vigilar el Kanban del supermercado del depósito, para realizar el pedido a los proveedores.
- Tomar las demandas del cliente y enviar una orden de Px al supermercado del transporte secuenciado de mix. En consecuencia todos los procesos aguas arriba iniciarán en cadena, siguiendo el sistema *pull*.

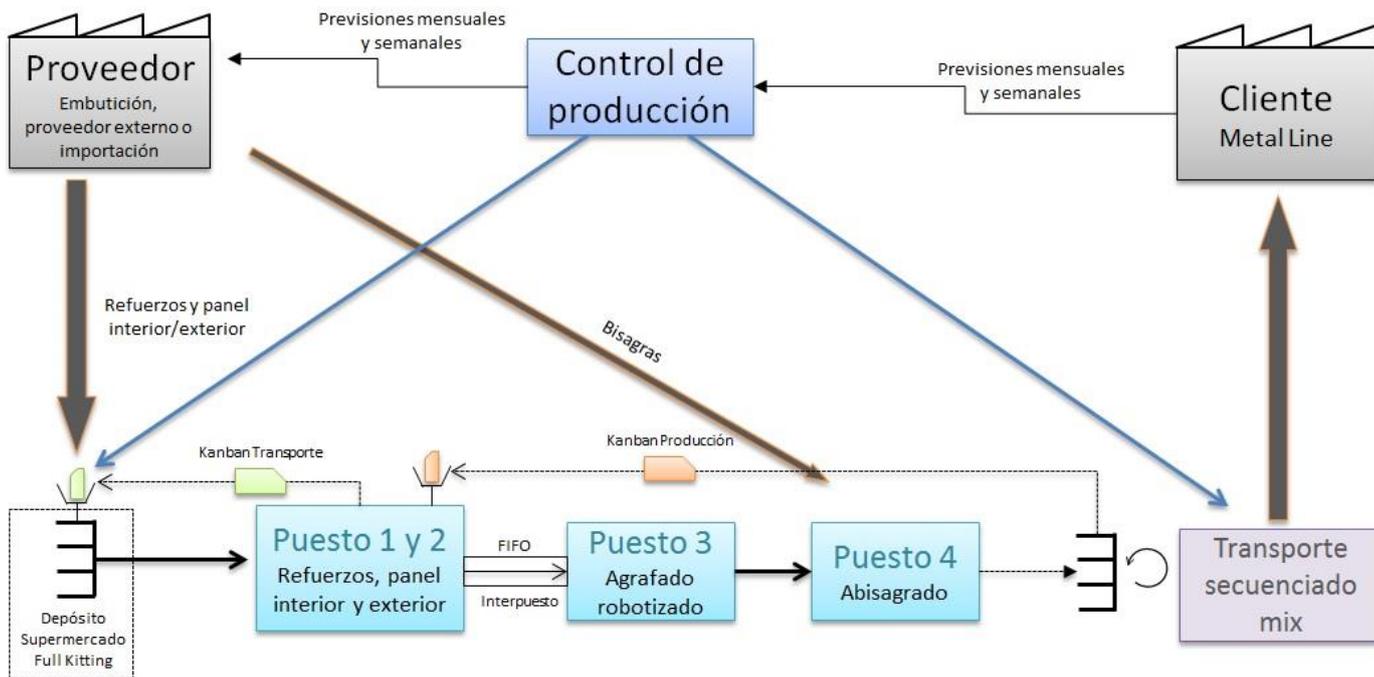


Figura 4.8 – VSM proceso ideal *pull* con mejoras.

En el siguiente capítulo se seguirán implementando mejoras al proceso, y tomará ya la forma final de estudio, allí se mostraran los planos actualizados con las mejoras completas y aplicadas en conjunto. Se podrá percibir la diferencia entre la isla simplificada y la ideal, constatando la mejor eficiencia lograda luego de implementar todas las herramientas.

4.4 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos, es una etapa del proyecto que se debe llevar a cabo para determinar el tiempo ciclo necesario para alcanzar la capacidad máxima de producción de una línea de fabricación y satisfacer la demanda, y así diseñar los puestos de trabajo.

Por otro lado, el estudio del trabajo es una evaluación sistemática de los métodos utilizados para la realización de actividades con el objetivo de optimizar la utilización eficaz de los recursos y de establecer estándares de rendimiento respecto a las actividades que se realizan. Es así que se implementa la herramienta de estandarización de Lean, para los puestos de trabajo que se estudiarán en este capítulo.

Para el siguiente análisis se implementará el método MTM (medida del tiempo de los métodos), que establecerá mediante tablas de tiempos predefinidas, los tiempos ciclo de cada puesto.

A causa de tener que examinar los puestos de trabajo, se tomará como punto de enfoque al proceso de armado de puertas. Sabemos que el PI abarca a todas las partes móviles, pero para este capítulo en particular es preciso elegir sólo uno de ellos, para así analizarlo minuciosamente, estandarizar las tareas y definir el tiempo ciclo para este caso (puertas). Se opta por el armado de puertas porque es el subconjunto que mayor complejidad trae al proceso, y el que mayor diversidad de piezas y puntos de soldadura lleva. Se toma por lo tanto, el proceso más desfavorable y difícil, que demandará mayor inversión y mano de obra. Para las otras islas, tales las de capot y tapa baúl, requieren menos operaciones y piezas, con lo cual se pueden analizar en base a lo que resulte del estudio de puertas.

Basándose en el proceso de armado de PM, se pueden distinguir dos grupos de operaciones separadas: manuales y robotizadas. Para el estudio de tiempo, es preferible separar estas operaciones y analizarlas individualmente, debido a sus diferencias de orígenes y factores determinantes. La celda robotizada trabaja independientemente y de forma distinta a la línea de soldado, el tiempo ciclo ya no es variable y se usa el tiempo tecnológico del robot para definir las cadencias.

Es importante destacar la base de tiempos que se utilizará, como ya se explicó, se toma el tiempo productivo real de 7,8 horas por turno (utilizando factor de utilización U) y se le aplica un factor de eficiencia E . Llevando este factor a la realidad, se está utilizando en las terminales automotrices para el área de soldadura un E de 0,92. Para las celdas robotizadas la eficiencia es variable, suelen situarse entre 0,87 y 0,94, esto se debe al OEE de cada planta. Para eliminar la incongruencia entre ambos procesos, se resuelve promediar el factor de eficiencia hacia un valor inferior: **0,90**. Así, se simplifica el estudio unificando los valores e imponiendo un solo *takt time*.

4.4.1 Método MTM y tablas de tiempos

MTM es el acrónimo en inglés de ‘*Methods Time Measurement*’, traducándose al castellano como Medida del Tiempo de los Métodos. En el contexto del estudio del trabajo los sistemas de tiempos predeterminados se definen como procedimientos que permiten calcular tiempos teóricos de ejecución de actividades totalmente influenciados por el hombre.

Según Kanawaty (1996), “el MTM es un procedimiento para el análisis de cualquier operación o método manual mediante su descomposición en los movimientos básicos requeridos para su realización a los cuales se asigna un tiempo predeterminado basado en su naturaleza y las condiciones bajo las cuales es ejecutado”.

Para el área de soldadura se utiliza un cifrado de tiempos simplificados especial para las operaciones que se llevan a cabo en este departamento. En el Anexo 1, se incorporan todas las tablas CTS de soldadura que serán la base para estudiar los puestos de trabajo y obtener los tiempos finales. Es relevante mencionar que la unidad de tiempo que se emplea es el **Cmin** (minuto centesimal) donde:

$$1 \text{ min} = 100 \text{ Cmin} = 60 \text{ s}$$

Las tablas CTS han sido recopiladas de terminales automotrices junto con filmaciones de puestos de armado de puertas, que permitirán aproximarse a un valor real de los tiempos. Estas filmaciones adjuntas en el PI, son la base para determinar la secuencia de tareas básicas del puesto y formular una sumatoria de tiempos tomando los datos de las tablas.

4.4.2 Operaciones manuales

Las operaciones manuales de armado de partes móviles se resumieron en la isla simplificada en 3 operaciones básicas ya mencionadas. El estudio de las operaciones manuales, sirve tanto para las islas flexibles como para las independientes, porque ambas funcionan de la misma manera indistintamente de que produzcan en JIT o ráfaga.

El procedimiento es sencillo, se debe antes que nada fijar el *takt time* de la isla para satisfacer la demanda prevista anual, luego diseñar cada puesto de trabajo con tiempos ciclo iguales o inferiores al TT y finalmente balancear la línea con MOD. Para eso se retoma la tabla 7 de volúmenes:

[miles]	Modelos			
PX	J1	J2	J3	J4
80	32	24	16	8
120	48	36	24	12
160	64	48	32	16
200	80	60	40	20

Tabla 9 – Proporción de volúmenes anuales de Px para cada modelo.

Como se puede ver, la mayor cadencia en rojo es para el modelo J1 y el límite superior de 200.000 vehículos anuales, es decir: **80.000 vehículos para J1**. La isla de armado se diseñará por lo tanto para el volumen máximo, siendo una cadencia diaria por turno de 40 v/h y un *takt time* de 130,2 Cmin (E = 0,90) según la tabla 6. Es decir, el tiempo ciclo de cada puesto no deberá superar 1 minuto y 18 segundos para llegar a la producción solicitada.

Se decide tomar la mayor cadencia para diseñar, ya que primero hay que verificar la factibilidad técnica/práctica de llegar a ese tiempo ciclo tan pequeño que se exige. Por otro lado, todas las demás cadencias se resuelven mediante balanceo global de la isla y justamente la restricción está en el máximo volumen. Para los distintos escalones de Px se buscará formar balanceos que apunten a la máxima cadencia para lograr una máxima eficiencia aprovechando la capacidad de las instalaciones.

Para alcanzar ese tiempo ciclo de 130,2 cmin, hace falta implementar mejoras en el proceso que agilicen las operaciones y minimicen las pérdidas. Para ello, hay que basarse en las mejoras planteadas con el VSM y analizar nuevas alternativas.

Los dispositivos de geometría que se plantearon al inicio, son con bridas de cierre manuales, son las más sencillas y sirvieron para explicar el proceso en la introducción. Para altas cadencias, se utilizan bridas de cierre electro-neumáticas comandadas por PLC y validador, que reducen el tiempo de preparación significativamente. El mecanismo consiste en una brida reforzada, accionada por un pistón neumático y contralada por electroválvulas desde un PLC. El operador en vez de tener que cerrar individualmente las bridas, solo debe presionar un validador bimanual situado junto con el gabinete, y el conjunto de bridas del dispositivo se cierran automáticamente, dejando el conjunto de piezas estáticas y localizadas para ser soldadas.



Imagen 4.1 – Ejemplo brida Tunker electroneumática.

Para los dispositivos giratorios manuales, se suelen implementar asistencias que giren el dispositivo con ayuda de un motor eléctrico vinculado al eje del mismo. El operador en vez de ejercer una fuerza sobre el borde, solo debe alejarse del radio de giro (zona de riego) y pulsar un interruptor situado en la manija de la pinza de soldar para ubicar la mesa en posición para realizar los puntos de soldadura.

Mediante estas dos mejoras, se reducen considerablemente las pérdidas y por encima de todo reducen la variabilidad de los tiempos, que como ya se dijo es el mayor mal a combatir.

Aun así, las tres operaciones básicas de refuerzo, hermanado y abisagrado, toman en promedio unos 290 a 350 cmin cada uno para finalizar una pieza. Esto está muy lejos del TT objetivo, y no queda otra alternativa que utilizar la herramienta de desdoblamiento de puestos para poder llegar a tiempos cercanos al minuto.

Desdoblamiento de puestos

El desdoblamiento consiste en subdividir las operaciones de un puesto a otros más pequeños. Es decir, se crean nuevos puestos redistribuyendo las tareas que se realizaban en uno solo. Esto permite dividir el tiempo ciclo original en la cantidad de puestos que sean necesarios y posibles para alcanzar el TT.

Para 40 v/h, una cadencia realmente alta, los puestos manuales serán desdoblados de la siguiente manera:

1. Refuerzo y panel interior: el puesto inicial de puertas posee en promedio 6 refuerzos que se sueldan junto al panel interior. Este puesto puede subdividirse en las siguientes operaciones:
 - a. **OP1-Remachado de refuerzos**: una técnica de desdoblamiento útil es prelocalizar las piezas de refuerzo en el panel mediante remaches, esto permite independizarse del dispositivo de geometría, achicar el puesto de trabajo sin necesidad de pinzas y minimizar los desplazamientos. Sólo hace falta una remachadora y un dispositivo híbrido que permita apoyar todos los modelos de puertas. Aquí se colocarán 4 de los 6 refuerzos: refuerzos de banda, de bisagra y cerradura, y rigidizador.
 - b. **OP2-Soldadura del preconjunto**: en un dispositivo de geometría se aprovisiona el panel interior con los refuerzos remachados y se sueldan los puntos correspondientes.
 - c. **OP3-Guía de vidrio**: se aprovisiona el panel ya soldado al dispositivo y se le agrega el canalín para soldar.
 - d. **OP4-Refuerzo anti-intrusión**: se aprovisiona el refuerzo al subconjunto y se realizan los puntos de terminación.
2. Hermanado: para esta operación lo único que se puede dividir es la colocación de sellador en el panel exterior y el hermanado propiamente dicho:
 - a. **OP5-Colocación sellador**: es un puesto lateral a la línea de armado ya que su insumo es el panel exterior y no un subconjunto. Allí se puede utilizar un simple dispositivo de apoyo como la OP1 para todos los modelos de puertas, donde se aplica sellador al perímetro del panel mediante una máscara.

- b. **OP6-Hermanado y terminación:** recibe dos subconjuntos, el de la operación 4 y el panel exterior de la 5. En un dispositivo de geometría se ensamblan una pieza con otra y se realizan los puntos de terminación que consolidan la geometría entera de la puerta para enviar a agrafar las pestañas.
3. **Abisagrado:** el abisagrado como se definió en VSM, será un dispositivo híbrido que permita atornillar las bisagras de los 4 modelos de puertas. Aquí no es posible desdoblar la operación, pero al poseer un tiempo ciclo bajo no es necesario realizar algún desarrollo. Por lo tanto, el armado de puertas finaliza en la OP8 de abisagrado justo después de la OP7 de agrafado.

En general, habiendo analizado varios modelos del mercado, la cantidad de puntos de soldadura que se realizan en una puerta para un modelo sedan en promedio es de 80 puntos. Así, se distribuirán uniformemente entre los puestos de soldadura:

OP2	25 puntos
OP3	20 puntos
OP4	20 puntos
OP5	15 puntos

Tabla 10 – Distribución de puntos de soldadura.

Análisis de puestos

Para el estudio de tiempo de cada puesto propuesto con el desdoblamiento y las mejoras, se utilizará como base las filmaciones de puestos similares de una terminal automotriz, para poder identificar las acciones básicas del operario en la tabla CTS (Anexo 1).

A continuación se presentan las tablas de análisis de los 7 puestos manuales, utilizando las filmaciones y los valores predefinidos de tiempos CTS. Al final de cada tabla se estima el tiempo ciclo total mediante la sumatoria del conjunto de acciones:

OP1 - Remachado de refuerzos				1 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	1	5	panel interior
2	Montar pequeña pieza orientada (inf a 1kg)	3	4	12	4 refuerzos
3	Fijar 1 remache	5	5	25	5 remaches aprox.
4	Montar pequeño IFF/adhesivo L≤10 cm	7	1	7	adhesivo bisagras/panel
5	Fijar 1 tornillo o tuerca	4	2	8	tornillo fijación refuerzo
6	Evacuar pieza orientada (1kg <peso< 8kg)	4	1	4	

TC Total	61
-----------------	-----------

Cuadro 4.3 – Estudio tiempo ciclo OP1.

OP2 - Soldadura de preconjunto					1 MOD
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel con refuerzos
2	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	1	2,5	
3	Validación	1	1	1	bimanual
4	Mover pinza	1,5	5	7,5	recorrido hacia el dispositivo
5	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	10	25	
6	Mover pinza	1,5	3	4,5	
7	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
8	Mover pinza	1,5	6	9	
9	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	10	25	25 puntos total
10	Despejar pinza	2	1	2	
11	Validación	1	1	1	
12	Evacuar pieza orientada (1kg <peso< 8kg)	4	1	4	

TC Total	101
-----------------	------------

Cuadro 4.4 – Estudio tiempo ciclo OP2.

OP3 - Guía de vidrio					2 MOD
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel subconjunto
2	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	2	10	guia de vidrio 2 partes
3	Validación	1	1	1	
4	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	2	5	2 pinzas X y J
5	Mover pinza	1,5	4	6	
6	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
7	Mover pinza	1,5	6	9	
8	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
9	Mover pinza	1,5	12	18	
10	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	10	25	20 puntos totales
11	Despejar pinza	2	1	2	
12	Validación	1	1	1	
13	Evacuar pieza orientada (sup a 8kg) 2 operarios	5	1	5	

TC Total	114
-----------------	------------

Cuadro 4.5 – Estudio tiempo ciclo OP3.

OP4 - Refuerzo anti-intrusión				2 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel subconjunto
2	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	1	5	refuerzo antiintrusión
3	Validación	1	1	1	
4	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	2	5	
5	Mover pinza	1,5	6	9	pinza X
6	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
7	Mover pinza	1,5	4	6	pinza J
8	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
9	Mover pinza	1,5	13	19,5	pinza X
10	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
11	Mover pinza	1,5	8	12	pinza J
12	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	20 puntos totales
13	Despejar pinza	2	1	2	
14	Validación	1	1	1	
15	Evacuar pieza orientada (sup a 8kg) 2 operarios	5	1	5	

TC Total	122,5
-----------------	--------------

Cuadro 4.6 – Estudio tiempo ciclo OP4.

OP5 - Colocación sellador				1 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	1	5	panel exterior
2	Montar pequeño gabarit / guía puntos	3	1	3	guía para pistola
3	Montar pequeño IFF/adhesivo L≤10 cm	7	2	14	
4	Aplicación cordón sellador (tiempo * cm)	0,1	400	40	perímetro puerta aprox.
5	Limpieza de desbordamiento de sellador cada 50 cm	4	1	4	
6	Evacuar pequeña guía (1 mano)	2	1	2	
7	Evacuar pieza orientada (1kg <peso< 8kg)	4	1	4	

TC Total	72
-----------------	-----------

Cuadro 4.7 – Estudio tiempo ciclo OP5.

OP6 - Hermanado y terminación					1 MOD
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	1	5	panel exterior
2	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel interior subconjunto
3	Validación	1	1	1	
4	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	2	5	
5	Mover pinza	1,5	8	12	
6	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	10	25	
7	Mover pinza	1,5	3	4,5	
8	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	15 puntos total
9	Despejar pinza	2	1	2	
10	Validación	1	1	1	
11	Evacuar gran pieza de un montaje hacia contenedor con ayuda motorizada	25	1	25	manipulador

TC Total	100
-----------------	-----

Cuadro 4.8 – Estudio tiempo ciclo OP6.

OP8 - Abisagrado					1 MOD
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Cargar gran pieza montaje con ayuda motorizada	30	1	30	manipulador y carga en dispositivo híbrido
2	Montar pequeño IFF/adhesivo L≤10 cm	7	2	14	adhesivo protección
3	Fijar 1 tornillo o tuerca	4	4	16	2 tornillos por bisagra
4	Evacuar gran pieza de un montaje hacia contenedor con ayuda motorizada	25	1	25	evacuación con manipulador a carro secuenciado mix

TC Total	85
-----------------	----

Cuadro 4.9 – Estudio tiempo ciclo OP8.

Finalizado el estudio de tiempos, se puede constatar que todos los puestos de trabajo tienen tiempos ciclo menores al TT de 130,2 cmin. La operación 4 de refuerzo anti-intrusión es la más lenta de todas, con **122,5 cmin** de T_c total, y en consecuencia es el cuello de botella de la línea que define la cadencia máxima.

Estos tiempos aproximados tomados de la tabla CTS de soldadura, difieren con la realidad debido a que no se consideran los tiempos muertos y operaciones extras que generan pérdidas. Dentro del tiempo estándar que se ha utilizado, los tiempos de desplazamientos son difíciles de definir. Así, la diferencia de tiempo entre el TT objetivo y el TC de la OP4 es absorbido por los desplazamientos extras del operario.

El autor puede confirmar entonces, que la configuración de los puestos de trabajo elegida sirve para los volúmenes de Px asignadas y se puede proseguir con el estudio de balanceo y diseño de las distintas islas de armado.

Otra conclusión importante que se obtuvo luego de varios análisis de hipótesis para el desdoblamiento de puestos, fue que esta configuración que se obtuvo es el límite práctico superior de producción, es decir, no se pueden seguir dividiendo los puestos para obtener Tc más pequeños debido a que el tiempo de NVA será superior al 50% del tiempo total, y por lo tanto se torna inviable. Esto quiere decir que la cadencia de 40 v/h (TT=130,2 cmin) para una isla de armado de PM, se puede considerar como la máxima permisible para una única línea de fabricación. Así, como corolario del estudio de tiempos, se concluye que una única isla flexible está restringida en su volumen de Px a 80 mil vehículos anuales por turno, sin tener en cuenta los tiempos muertos de *setup*.

Para menores cadencias, se tomará como base de proceso esta configuración con 8 puestos de trabajo y se realizará el balanceo adecuado quitando MOD para saturar al máximo las operaciones sin sobredimensionar la línea.

A continuación se resume el capítulo de mejoras de VSM y tiempos plasmados en la nueva implantación que reemplaza la isla simplificada:

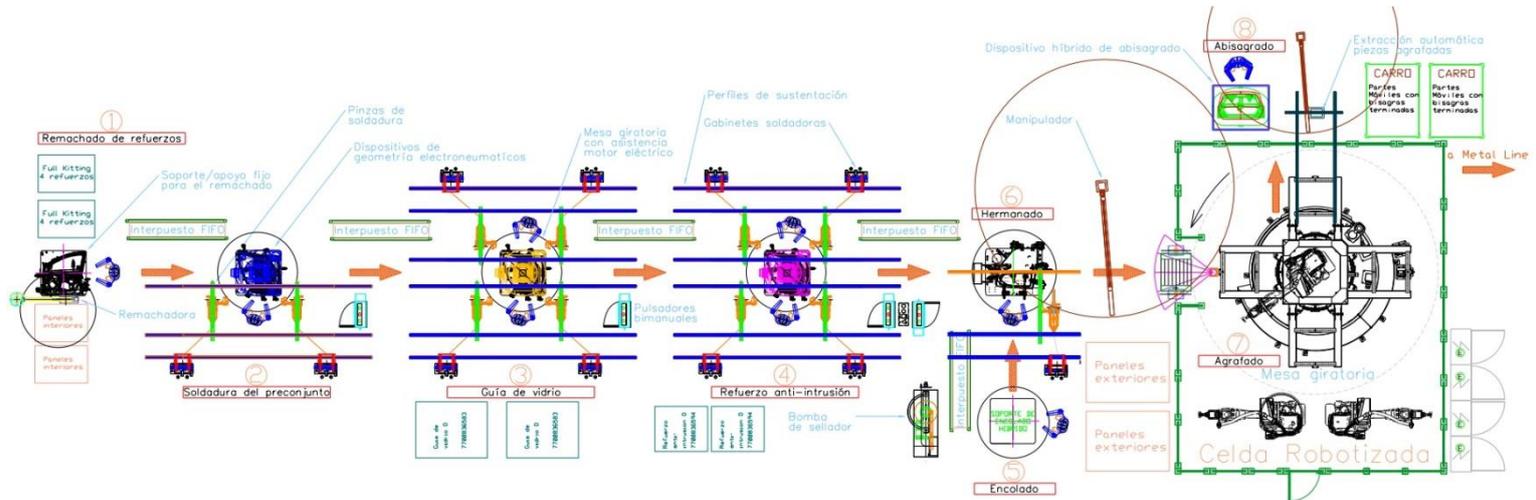


Figura 4.9 – Implantación mejorada implementado VSM y estudio de tiempo.

Para mejor visualización se amplía la implantación en dos figuras cortadas:

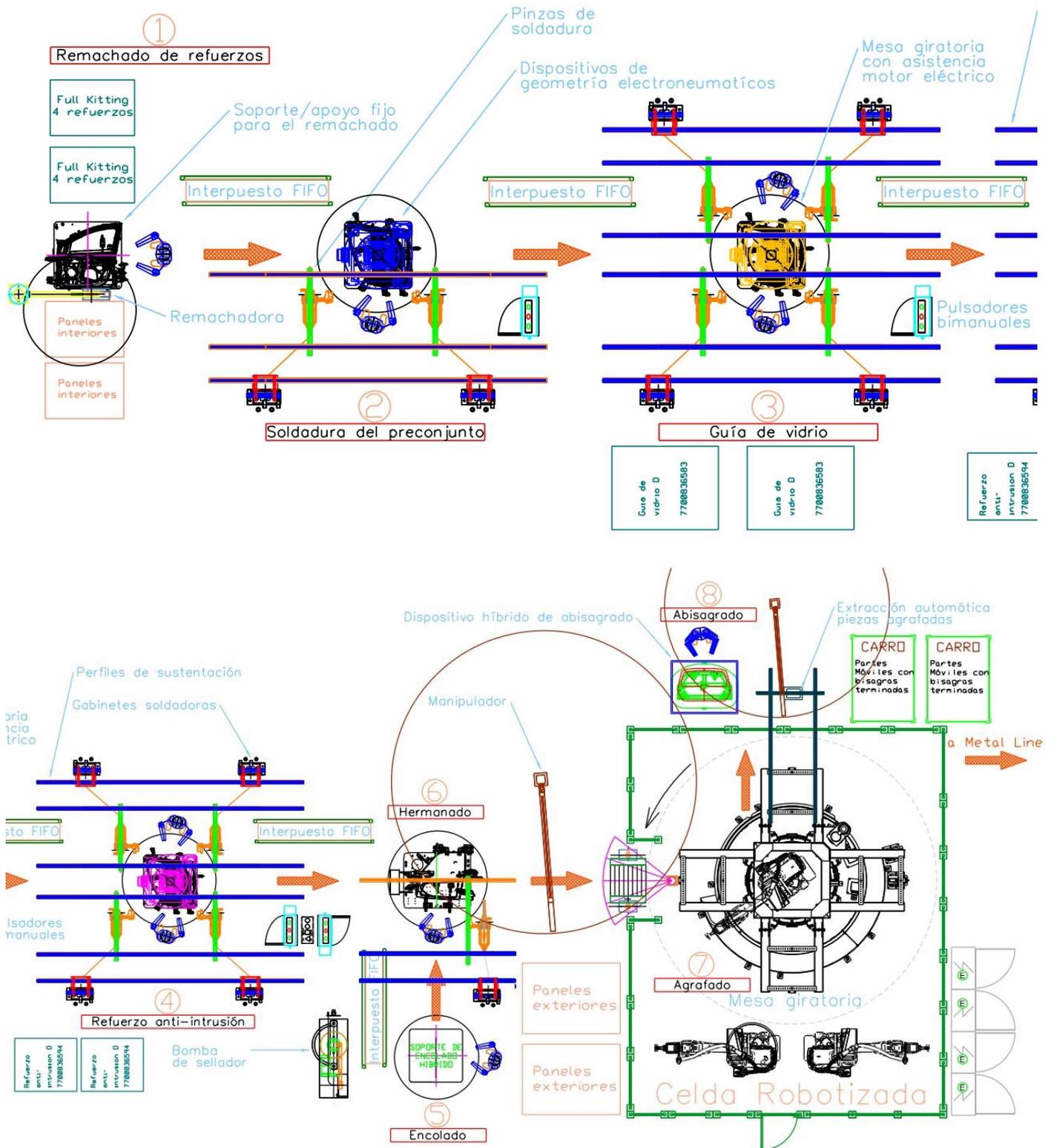


Figura 4.10 – Ampliaciones de la implantación mejorada.

4.4.3 SMED e intercambio de dispositivo

Habiendo realizado el análisis de tiempo de operaciones manuales para la isla de armado, es hora de introducir la variable diversidad de modelos. El estudio sirve tanto para la isla independiente como para la flexible, pero la diferencia entre una y otra es el cambio de modelo. Para la isla flexible, se intercambian los dispositivos como ya se explicó anteriormente y para la independiente, el operador se desplaza de una línea a otra. Estas actividades son tiempo muerto en la cual la línea se detiene y no produce partes móviles, este tiempo es considerable y para nada despreciable y por tal motivo se lo va a analizar.

Con respecto al desplazamiento del operario para las islas independientes, el análisis varía según los escalones de producción, por ello se efectuará en el próximo capítulo. En cambio para las islas flexibles, el intercambio de dispositivos ya se ha explicado, ahora se implementará la herramienta SMED para disminuir esta pérdida.

Tomando la implantación mejorada, en la isla flexible se deberán cambiar 4 dispositivos: OP2/OP3/OP4/OP5. Los puestos de remachado, encolado y abisagrado no precisan de intercambios ya que son únicamente dispositivos de apoyo de paneles o dispositivos híbridos para el caso del abisagrado, que sirven para los cuatro modelos a fabricar.

Recordando el proceso de intercambio de platina, se asigna un operario de mantenimiento para manipular un solo autoelevador disponible para la isla. El tiempo asignado es proporcional a la cantidad de cambios que haya que efectuar en el turno de fabricación, en este caso son 4 cambios (modelos J1, J2, J3 y J4), el resto del tiempo prosigue con sus tareas de mantenimiento.

Gracias a que el flujo de producción para los cuatro puestos es de tipo *pull*, en gran parte por los interpuestos FIFO, permite sincronizar los cambios y que no exista interferencia en el momento de usar el único autoelevador. El proceso de *set-up* se realiza en forma escalonada, de atrás hacia adelante siguiendo el vaciado de la línea, y lo que regula los tiempos para que no se interpongan son los interpuestos que trabajan como pulmón.

Por lo tanto, el tiempo muerto total para cada ciclo de intercambio (4 dispositivos) es igual al tiempo que se tarda en cambiar uno solo, debido a que el autoelevador y el operario de mantenimiento están 100% disponibles en todo momento.

El paso número 1 de SMED es analizar el modelo inicial de intercambio. Para el modelo de intercambio de dispositivo planteado en el capítulo 4.2.2, se anexa una filmación del mismo para determinar los tiempos y proponer mejoras.

Luego de estudiar las actividades que realizan los dos operadores, se registran los tiempos en una tabla a continuación:

Operador 1	Tiempos 1 [s]	Operador Mulero	Tiempos 2 [s]	Tiempos combinados [s]
Termina operación modelo A				15
Colocan última pieza, validan para cerrar bridas y pulsan parada de emergencia				18
Gira dispositivo posición extracción	15	Sube al autoelevador y lo enciende	27	27
Desconecta bloc conectores	12			
-	-	Aproxima las uñas del autoelevador al dispositivo y lo levanta	17	17
Mantenimiento preventivo	28	Extrae el dispositivo hacia atrás y lo deposita en la estantería correspondiente	28	28
Asiste a la localización de los pilotos	15	Toma el dispositivo del otro modelo y lo posiciona sobre la platina giratoria	67	67
Reconecta el bloc de conectores neumáticos y eléctricos	48	Retira el autoelevador del lugar y regresa al puesto	-	48
Validan el puesto para reiniciar el proceso modelo B				15

3min 55s	391,7
Total [Cmin]	

Tabla 11 – Tiempos de intercambio de dispositivo.

El tiempo total para realizar el cambio de platina para otro modelo es de **392 cmin**. El principio de SMED es identificar y separar las tareas internas y externas del proceso, como ya se explicó en el marco teórico. Pero para este caso, las operaciones externas al cambio no pueden ser realizadas fuera de este, ya que el propio sistema de intercambio lo impide, al tener una base/platina fija al suelo la operación de colocación-extracción no puede independizarse.

Se redefine el sistema de intercambio de dispositivo para poder aplicar el segundo y tercer paso de SMED. Tomando un ejemplo de las líneas de prensas de embutición, se repite la solución, consiste en implementar un sistema de rieles en el suelo donde los dispositivos puedan desplazarse sobre rodillos y anclarse en la posición de trabajo. En vez de tener una base fija al suelo, cada dispositivo tendrá su

base giratoria formando un solo bloque, y el anclaje será efectuado en los rieles mediante trabas. Esta mejora permite independizarse del autoelevador para trasladar el dispositivo empujándolo hacia el punto de anclaje, y así solapar las dos tareas de colocación y extracción. A continuación se muestra la idea plasmada en la implantación:

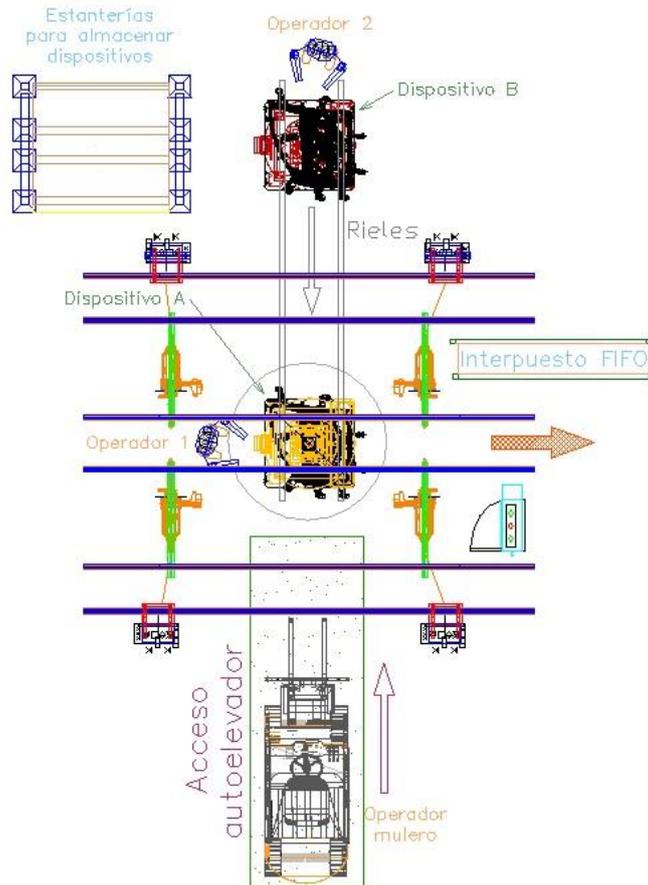


Figura 4.11 – Sistema de intercambio de dispositivo con SMED.

Para entender el nuevo procedimiento se siguen los pasos de SMED. En el segundo paso se identifican las tareas internas y externas tomadas de la tabla 11:

Operaciones internas	Operaciones externas
<ul style="list-style-type: none"> - Termina operación modelo A - Colocan última pieza, validan para cerrar bridas y pulsan parada de emergencia - Gira dispositivo posición extracción - Desconecta bloc conectores - Aproxima las uñas del autoelevador al dispositivo y lo levanta - Extrae el dispositivo hacia atrás y lo deposita en la estantería correspondiente - Reconecta el bloc de conectores neumáticos y eléctricos - Validan el puesto para reiniciar el proceso modelo B 	<ul style="list-style-type: none"> - Sube al autoelevador y lo enciende - Toma el dispositivo del otro modelo y lo posiciona sobre la platina giratoria - Retira el autoelevador del lugar y regresa al puesto - Mantenimiento preventivo - Asiste a la localización de los pilotos

Todas estas operaciones externas las realizará el operador de mantenimiento asignado mientras los dos operarios del puesto están fabricando el modelo A. Entonces, mientras la línea está en funcionamiento el mulero retira el dispositivo del modelo B y lo posiciona sobre los rieles en la zona exterior de la línea, en seguida se dirige hacia la zona verde de acceso autoelevador, despeja los carros de piezas y aguarda a que se detenga la línea para el cambio. Se puede ver como la implementación del riel permite aplicar el tercer paso de SMED convirtiendo una operación interna en externa.

Ahora se puede aplicar el cuarto paso. Cuando se detiene la línea, el operario 1 gira/desvincula el bloc de conectores y destraba el dispositivo A de los rieles, mientras el operador 2 se dirige al dispositivo B y empieza a empujar. En ese mismo momento el mulero ingresa con las uñas para tomar el dispositivo A y retirarlo, es por eso que se dice que la tarea de colocación/extracción se solapan. Retirado A y anclado B, resta vincular el bloc conector y validar el puesto para reiniciar el proceso.

Operador 1 y 2	Tiempos 1 y 2 [s]	Operador Mulero	Tiempos [s]	Tiempos combinados [s]
X		Sube al autoelevador y lo enciende	10	<i>op. Externa</i>
		Toma el dispositivo del otro modelo y lo posiciona sobre los rieles	67	<i>op. Externa</i>
		Traslada el autoelevador hacia el otro lado de la línea y despeja el área de acceso	40	<i>op. Externa</i>
Termina operación modelo A	15	Espera para retirar dispositivo modelo A	-	15
Colocan última pieza, validan para cerrar bridas y pulsan parada de emergencia	18		-	18
Gira dispositivo posición extracción	15		-	15
Desvincula bloc conectores y destraba anclaje rieles	12		-	12
Caminan al dispositivo B y lo empujan hasta el anclaje	19	Aproxima las uñas del autoelevador al dispositivo y lo levanta	17	19
Reconecta el bloc de conectores neumáticos y eléctricos y ancla el dispositivo al riel	48	Extrae el dispositivo hacia atrás y lo deposita en la estantería correspondiente del otro lado de la línea	38	48
Validan el puesto para reiniciar el proceso modelo B	15	Retira el autoelevador del lugar y regresa a sus tareas de mantenimiento preventivo	-	15
			2min 22s	236,7
				Total [Cmin]

Tabla 12 - Tiempos de intercambio de dispositivo con SMED.

En la tabla 12 se puede apreciar claramente la mejora de los tiempos de intercambio: **236,7 cmin** contra 391,7 cmin, es decir un ahorro de 155 cmin (81 segundos menos). En consecuencia se elimina NVA del proceso y mejora la *performance* de la línea.

Lo último a analizar para el intercambio de dispositivo es la absorción de este tiempo muerto en las 7,8 horas de producción. Las restricciones planteadas para la isla flexible consistían en realizar sólo un ciclo de intercambio para los cuatro modelos J1, J2, J3 y J4, es decir, 4 cambios en todo el turno de trabajo. El tiempo total muerto es de:

$$4 \times 236,7 [Cmin] = 946,8 Cmin \sim 9,5 min$$

Estos 9,5 minutos son pérdida de producción. Para evitar esta pérdida la solución que se opta es absorber este tiempo reduciendo el TT y en consecuencia el tiempo ciclo del puesto cuello de botella. Para eso se calcula el tiempo muerto por vehículo producido en el turno, para el volumen de cadencia máxima por isla antes diseñado 80 mil autos = 320 vehículos por turno:

$$946,8 [Cmin] \div 320 \text{ veh\u00edculos} = 2,96 Cmin \sim 3 Cmin$$

Esto quiere decir que el TT de 130,2 cmin se le debe restar el tiempo muerto unitario de 3 cmin para llegar a la Px demandada.

$$130,2 [Cmin] - 2,96 [Cmin] = 127,24 Cmin \sim \mathbf{127,2 Cmin}$$

Este nuevo TT de 127,2 cmin sigue siendo mayor al Tc de la OP4 cuello de botella con 122,5 cmin, considerando además los tiempos adicionales de desplazamiento.

En resumen, implementando SMED se logró reducir el tiempo de intercambio de dispositivo lo suficiente como para que no impactara en el tiempo ciclo de los puestos. Esto quiere decir que realizando los cuatro respectivos cambios, la absorción de la pérdida está incluida en la brecha entre el TT y el Tc del cuello de botella, y por lo tanto no es necesario realizar mejoras en el puesto para reducir el tiempo ciclo.

4.4.4 Operación robotizada

En esta parte, se estudiará la configuración de la celda robotizada de agrafado OP7. La naturaleza del proceso varía con respecto a las operaciones manuales básicamente por el hecho de que las velocidades de proceso son mayores en los robots, con lo cual el límite de cadencia máxima es distinto y permite mayor flexibilidad dentro de la celda con la cantidad de robots instalados. Además, las operaciones robotizadas poseen menor variabilidad que las manuales y favorecen a mantener una calidad de piezas controlada.

Para las operaciones manuales se planteó el análisis tanto para las islas independientes como para las flexibles. Para la operación robotizada de agrafado, no es posible realizar el estudio en conjunto debido a la diferencia de flujo de piezas entre ambos métodos. Hay que recordar que la isla independiente trabaja en JIT según el mix y la flexible en ráfaga, esto quiere decir que para una celda robotizada con mesa cuádruple (4 modelos) los puestos pueden desdoblarse únicamente si se van cargando las cunas en el orden secuenciado, es el caso del JIT y no en ráfagas.

Para poder desdoblar los puestos con el método de producción en lote, es necesario implementar intercambiadores de cuna de agrafado e invertir cuatro veces más en dispositivos, es decir, utilizar la mesa cuádruple con 4 cunas iguales según el ciclo del modelo y permitir el desdoblamiento. Una solución más sencilla es separar las celdas según modelos y hacerlas producir en ráfaga sin necesidad de intercambiadores. Por tal motivo, se desarrollará esta solución para la isla flexible en el capítulo siguiente.

Las empresas dedicadas al robotizado ofrecen en sus catálogos distintas configuraciones de celdas para el agrafado de partes móviles. Retomando la explicación de la celda robotizada, la capacidad mínima de una mesa giratoria es de dos cunas y de una sola entrada/salida de piezas por cuestiones de seguridad. Para la extracción se aplica la mejora VSM de la automatización mediante sopapas neumáticas que figuran en la implantación mejorada, esto permite eliminar el tiempo de descarga del operario y asegurar un flujo continuo de piezas.

A continuación se muestran las distintas configuraciones ofrecidas por la empresa ABB:

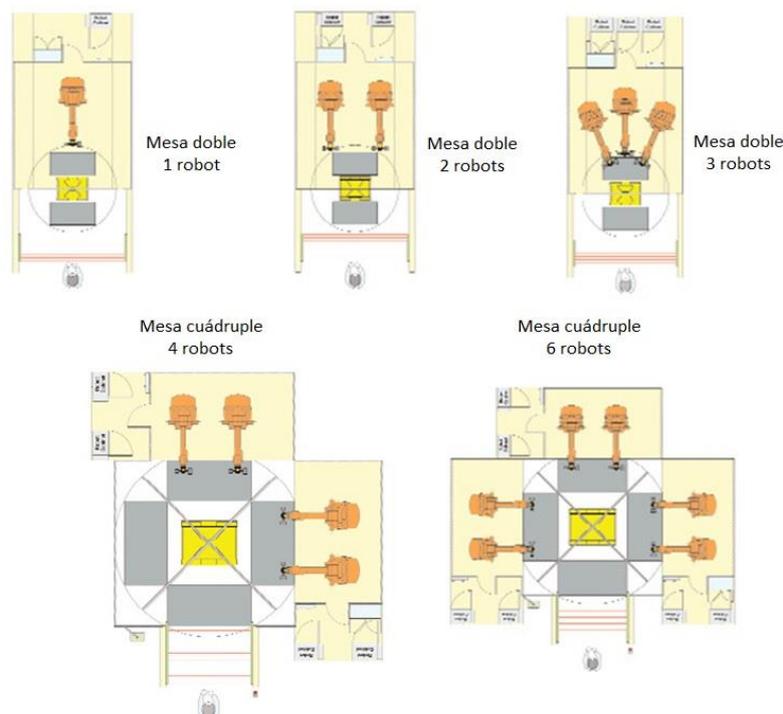


Figura 4.12 – Configuraciones de celdas robotizadas ABB.

Para las islas independientes, se utilizará una mesa cuádruple aprovechando las instalaciones y pudiendo agrafar los cuatro modelos en una sola celda. Esta opción tiene muchas ventajas con respecto a las celdas individuales o dobles, las conveniencias que la tornan más favorable son:

- **Flexibilidad:** permite fabricar cualquiera de los 4 modelos en una sola celda y se adapta a los posibles cambios de demanda y mix. El diseño de la celda está optimizado para cualquiera de las cuatro cadencias de estudio, pudiendo quitar o agregar robots de manera sencilla.
- **Menor mano de obra:** al tener todo concentrado en un solo lugar los puestos de carga (anterior) y abisagrado (posterior) precisan de un solo operario cada uno. Para las celdas separadas de las islas flexibles es necesario multiplicar los MOD proporcionalmente al número de celdas.
- **Flujo único de piezas:** con la mesa cuádruple y sistema JIT, el flujo de piezas es único, las cuatro líneas de armado convergen en el puesto de carga y el puesto de abisagrado es abastecido directamente desde la celda con la extracción automática. Gracias a esto los carros de piezas terminadas se llenan de forma secuenciada listos para abastecer la línea de chapa.

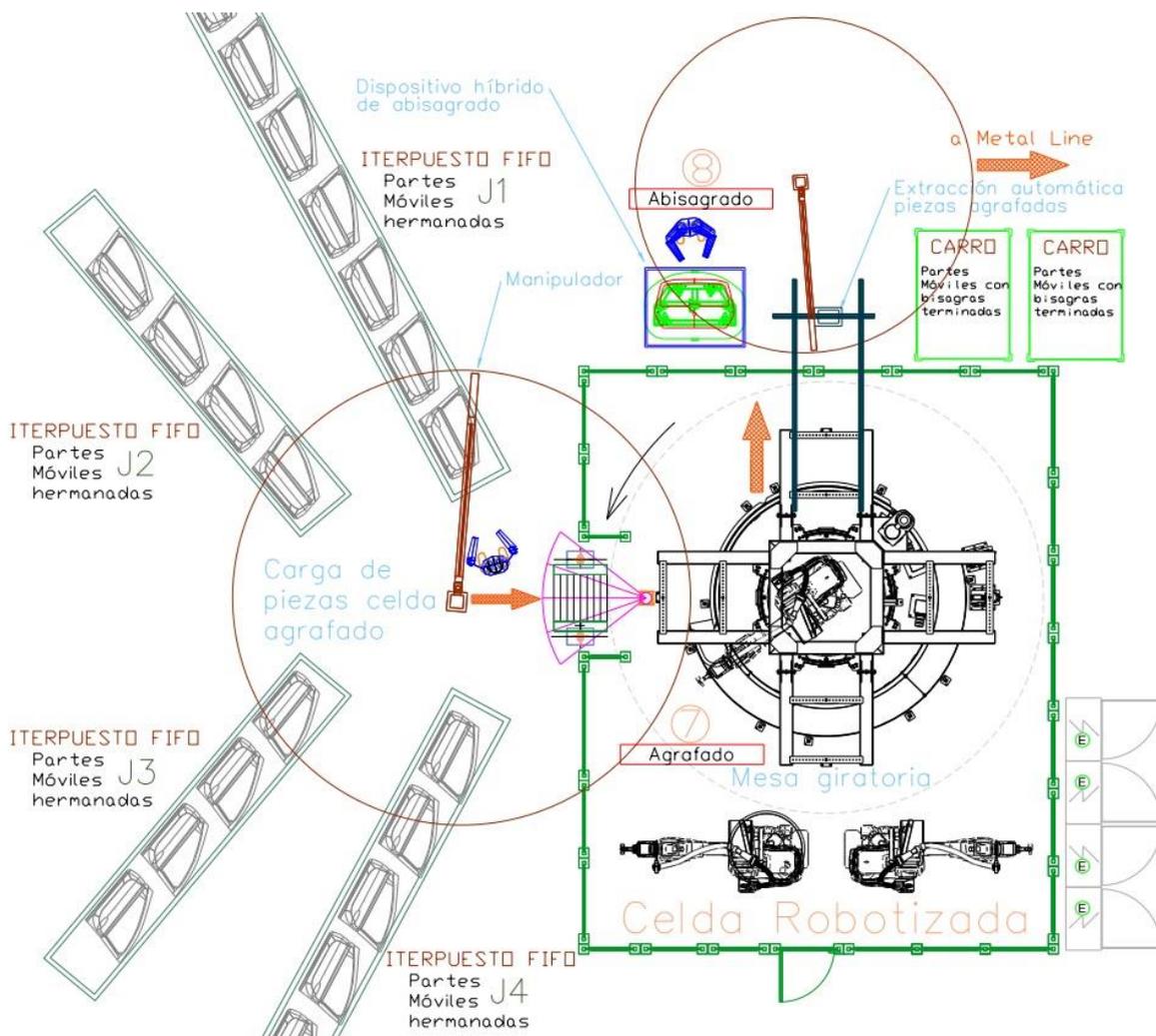
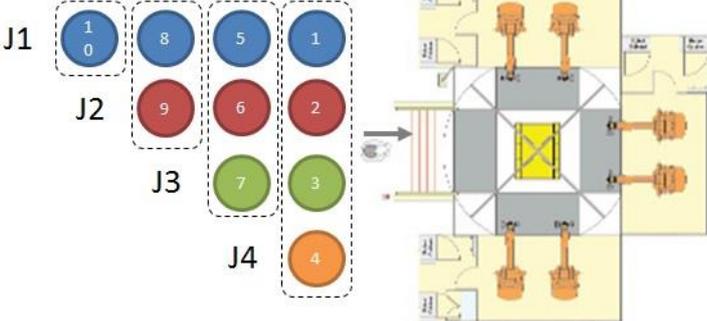
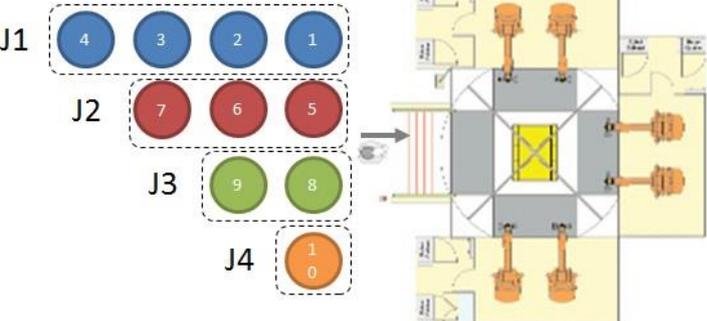


Figura 4.13 – Implantación celda robotizada isla independiente.

En la implantación están presentes las mejoras del VSM: interpuesto FIFO en vez de carros, extracción automática y dispositivo de abisagrado híbrido que reduce cuatro veces la superficie ocupada junto con la eliminación de los carros intermedios. Y todo esto produce con sólo 2 operarios.

Un tema que surge con la celda única, es cómo se van a ir cargando las cunas de agrafado, es decir, en qué secuencia van a entrar las piezas de los cuatro modelos en la celda. El lote del mix de producción es de 10 piezas, las cuales 4 son de J1, 3 de J2, 2 de J3 y 1 de J4, esto da lugar a dos opciones:

<p style="text-align: center;"><u>Opción A:</u></p> <p>Cargar las piezas del lote siguiendo la secuencia de la mesa giratoria respectivamente. Este procedimiento permite aprovechar el desdoblamiento de puestos produciendo simultáneamente los 4 modelos, pero no al 100% debido a la proporción del mix de Px, 4-3-2-1.</p>	<p style="text-align: center;">Lote 10 piezas mix de producción</p> 
<p style="text-align: center;"><u>Opción B:</u></p> <p>Este método favorece el trabajo en ráfaga pero no permite el desdoblamiento de puestos ya que para cada giro se estará pestañando una sola pieza.</p>	<p style="text-align: center;">Lote 10 piezas mix de producción</p> 

Cuadro 4.10 – Opciones flujo/carga de piezas celda robotizada.

Sin lugar a duda, la necesidad de desdoblar puestos para llegar a altas cadencias y aplicar JIT, no deja otra alternativa que la opción A. El punto débil de esta opción es que no se tendrá una eficiencia del 100% en la celda, porque a medida que termina una vuelta completa de la mesa se vacía una cuna y pierde productividad, es decir en la primer ronda se producen los cuatro modelos, en la segunda no se produce J4, en la tercera J4 y J3 y en la cuarta ronda solo se produce J1. Entonces en cuatro ciclos que vendrían a ser 16 puestos (4x4) se agrafan solo 10 piezas, y por lo tanto la eficiencia de la celda es de $\frac{10}{16} = 0,625$.

Definida la configuración de la celda robotizada, se pasa a analizar los tiempos ciclo y la cantidad de robots necesarios para las cuatro cadencias. Como dato esencial base para iniciar el cálculo, se toma la velocidad lineal máxima del cabezal del robot en la cual avanza sobre el perímetro de la parte móvil plegando la chapa. Esta velocidad V_{cabezal} difiere entre modelos de robot, pero se va a tomar como

referencia la del robot ABB IRB 6640 que es de 250 mm/s para el proceso de agrafado y se le va a aplicar un factor de corrección 0,8 para incluir la disminución de velocidades en las curvas complejas y el cambio de herramienta (rodillo). Por lo tanto la $V_{\text{cabezal}} = 200 \text{ mm/s}$.

Para calcular el tiempo ciclo hace falta conocer el perímetro de las partes móviles. Al ser un valor muy variado según marcas y modelos se tomó un promedio redondeado medido en varios vehículos: cuadrado de 1m de lado y 4m de perímetro, que simplifica los cálculos y sirve para el análisis teórico.

Teniendo ya los datos de velocidad y perímetro, se pasa al cálculo. Esta celda se utilizará para producir las 4 cadencias de 40, 60, 80 y 100 v/h. Para cada una se irán incrementando el número de robots para disminuir el tiempo ciclo y acompañar el TT de cada una. En la tabla a continuación están todas las variables que se han tenido en cuenta, a la izquierda los valores calculados a partir de la tabla 6 (Px anual, cadencia y TT), y del lado derecho los valores para la celda robotizada:

		con E = 0,9						
Px anual por turno [miles]	Cadencia [v/h]	Takt Time [Cmin]	Cantidad de robots	Longitud por robot L_r [m]	$T = L_r / V_{\text{cabezal}}$ [s]	Tiempo robot [Cmin]	Tiempo con giro [Cmin]	Tiempo ciclo [Cmin]
80	40	130,2	2	6	30	50	65	104
120	60	86,8	3	4	20	33,3	48,3	77,3
160	80	65,1	4	3	15	25	40	64
200	100	52,1	6	2	10	16,7	31,7	50,7

Tabla 13 – Cálculo de cantidad de robots para distintas cadencias.

La metodología es sencilla, se procede mediante prueba y error suponiendo una cantidad x de robot para cada cadencia y se obtiene un T_c final que luego se compara con el TT, si $T_c > TT$ se prueba con otra cantidad y si $T_c \leq TT$ la cantidad es correcta. Se explica paso a paso todas las columnas:

- *Longitud por robot L_r* : el proceso de pestañado consta de tres pasadas como se explicó antes, tres distintos ángulos de plegado, por lo tanto la longitud total del proceso es: $\text{perímetro} \times n^{\text{º}} \text{ pasadas} = 4m \times 3 = 12m$. Entonces L_r es la longitud que realiza cada robot, es decir: $L_r = \frac{\text{Longitud total}}{\text{cantidad de robots}}$
- *Tiempo robot*: es el tiempo proceso propiamente dicho: $T = \frac{L_r}{V_{\text{cabezal}}}$ se expresa primero en segundo y luego en cmin.
- *Tiempo con giro*: al tiempo robot se le suma el tiempo en girar la mesa, posicionarse en el puesto y validar. Este tiempo muerto es de 15 cmin y se mide con las filmaciones. $T_{\text{giro}} = \text{tiempo robot} + 15 \text{ Cmin}$
- *Tiempo ciclo*: el tiempo ciclo total se calcula en base al lote de 10 piezas que circulan en las cuatro rondas. Se aplica el factor de eficiencia de la celda: $T_c = \frac{T_{\text{giro}}}{\text{Eficiencia celda}} = \frac{T_{\text{giro}}}{0,625}$

El resultado es de 2 robot para 40v/h, 3 para 60 v/h, 4 para 80 v/h y 6 para 100 v/h. Son números razonables que responden a un comportamiento en la realidad. El resumen del cálculo se plasma en la implantación:

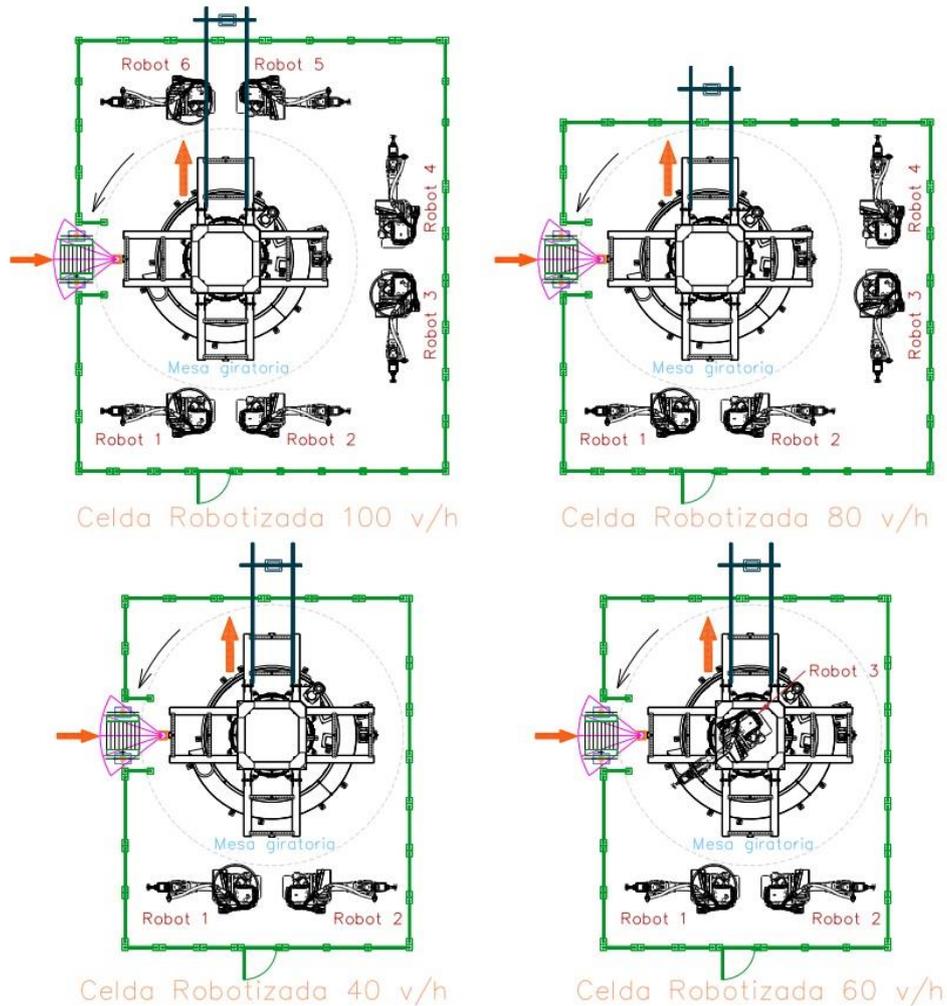


Figura 4.14 – Configuración celda robotizada para las 4 cadencias.

Falta analizar únicamente el puesto de carga de la celda para verificar que coincidan con los del robot. En base a la filmación de la OP7 de carga se toman los valores de la tabla CTS en el anexo:

OP7 - Cargado de piezas celda robotizada				1 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Cargar gran pieza montaje con ayuda motorizada	14	1	14	manipulador y carga en cuna de agrafado
2	Control visual o manual (por característica)	1	1	1	control localización pilotos
3	Validación	1	1	1	

TC Total	16
-----------------	-----------

Cuadro 4.11 - Estudio tiempo ciclo OP7.

Esta operación se solapa con la del robot, en el momento en que están agrafando J1, el operador está cargando J2 en la cuna. Por lo tanto los tiempos que hay que comparar no son con el tiempo ciclo de la celda sino con el del robot sin giro. En el caso más desfavorable, para una cadencia de 100 v/h se tiene $T_{robot}=16,7$ cmin, que apenas supera al tiempo ciclo del operador de carga. En la práctica esto debe complicarse y sin duda se deberá aportar alguna mejora que disminuya el Tc de la OP7, sin embargo en este estudio las cifras obtenidas son correctas y se consideran como tal.

4.4.5 Isla de secuenciado y stock intermedio

Para la isla flexible se vuelve al capítulo 4.2.2, donde se menciona sobre el stock intermedio entre la isla de armado y *Metal Line*. Lo que sucede, es que los carros de partes móviles terminadas luego del abisagrado contienen piezas de un solo modelo sin respetar el mix como ya se explicó. Los carros deben ser almacenados en las cantidades mencionadas antes según la cadencia, para utilizarse como pulmón y poder abastecer la línea según el mix. Pero para esto es necesario trasvasar piezas y secuenciar los carros para la línea, esto se logra creando un nuevo puesto de secuenciado.

El puesto de secuenciado, lo opera un solo trabajador, las actividades que debe realizar son:

1. Acomodar los carros de la isla de stock intermedio para armar el puesto de secuenciado.
2. Aproximar el carro de secuenciado a cada carro de los modelos J1, J2 , J3 y J4 y retirar la cantidad según el mix. En vez de utilizar manipulador, el carro de secuenciado posee guías para deslizar una pieza de un carro al otro.
3. Posicionar el carro de secuenciado en el borde de línea.

Como cada carro tiene capacidad para 10 piezas y en el borde de línea de chapa se utiliza doble módulo, el puesto de secuenciado tiene baja saturación ya que en la situación más desfavorable sería a cadencia máxima 100 v/h con un TT de 52,1 cmin por pieza, es decir:

$$TT \text{ pieza} \times \text{capacidad carros} \times n^{\circ} \text{ carros en borde de línea} =$$

$$52,1 \text{ cmin} \times 10 \times 2 = 1042 \text{ Cmin} \sim \mathbf{10,5 \text{ min}}$$

Por este motivo es que no se estudia el puesto en detalle ya que está sobrado de tiempo para llenar un carro de secuenciado. Al tener baja saturación se le deberá asignar tareas adicionales al puesto para alcanzar un nivel mínimo de saturación.

4.5 Diseño de las islas de armado de PM

En el capítulo 4, se ha desarrollado el estudio completo de las islas de armado de partes móviles, iniciando con el análisis del mercado mundial y sus volúmenes para establecer que rangos se iban a utilizar, se plantearon los dos métodos de fabricación con sus respectivas características para luego compararlas. Se utilizaron las herramientas de Lean tales como la estandarización, SMED, Kanban, VSM, Heijunka, Jidoka, todo esto implementando JIT. Se diseñó una isla simplificada para explicar el proceso y luego mejorarla con las herramientas para aumentar la eficiencia. Se realizó un estudio de tiempos para definir los puestos de trabajo, el tiempo ciclo, la celda robotizada, entre otros.

El conjunto de información que se obtuvo, permite ahora realizar el diseño de las islas de armado para los volúmenes establecidos y comparar los balanceos de mano de obra para las dos opciones de producción que surgieron: JIT o ráfaga.

En la siguiente tabla se resumen los volúmenes de Px estudiados con sus respectivos tiempos:

Demanda por año	<i>por turno</i>		[Cmin]
	Por día (250 días de px)	Cadencia x hora	Takt time con eficiencia 90%
60 000	240	30,77	173,6
80 000	320	41,03	130,2
120 000	480	61,54	86,8
160 000	640	82,05	65,1
200 000	800	102,56	52,1

Tabla 14 – Resumen volúmenes de Px a analizar.

En vez de mencionar los volúmenes de producción mediante la demanda anual por turno (en miles), se hará referencia a la capacidad de producción de una línea mediante la cadencia por hora (v/h) y se redondeará el valor para facilitar la cita, es decir, en lugar de referirse a una línea de 80.000 vehículos anuales por turno, se cambiará por una línea de 40v/h.

El objetivo de este capítulo es dimensionar y balancear las líneas para que produzcan 40, 60, 80 y 100 vehículos por hora, implementando por un lado las islas independientes y por el otro las islas flexibles. Para esto se toma el diseño de la isla mejorada del capítulo 4.4.2, preparada para fabricar con una sola línea 40 v/h, que en su principio estaba destinada a producir la máxima cadencia de la tabla 9 (80 mil).

La isla mejorada es el límite superior de Px para una línea individual, ya que no existen posibilidades técnicas para seguir desdoblado puestos o implementando mejoras para reducir el tiempo ciclo. Para cadencias menores a 40 v/h se

rebalancean los operarios manteniendo la misma configuración de puestos de trabajo.

Para realizar el análisis de cadencias y balanceos se aplica nuevamente la tabla de proporciones por modelo (tabla 9). El capítulo por lo tanto se dividirá en dos partes, una para las islas independientes y otra para las flexibles. Cada una con 4 configuraciones: 40, 60, 80 y 100 vehículos por hora.

Las implantaciones de cada configuración se adjuntan en el Anexo 2 en formato A3 para mejor visualización.

4.5.1 Balanceo islas independientes

Las islas independientes al no poseer la capacidad de intercambiar los dispositivos, la única alternativa es instalar 4 líneas paralelas para los cuatro modelos. Dependiendo de la cadencia, varía el balanceo pero no la disposición de la isla.

40 v/h

Para esta cadencia se utiliza directamente la configuración de la isla mejorada a 40 v/h, es decir para las 4 líneas basta con solo una dotación de MOD que se desplace de una línea a la otra según el mix para cubrir el volumen total de Px. En el Anexo 2, se puede visualizar la implantación de la isla independiente con las cuatro líneas paralelas y una sola de ellas contiene operarios.

Para las islas independientes, se había mencionado que para cambiar de modelo bastaba con mudarse de puesto y continuar con la producción. Esto es exactamente lo que harán los operarios en esta isla, producir en la cantidad justa en cada modelo y mudarse a la siguiente en sincronía con el mix de producción.

Tomando la isla mejorada de 40 v/h desdoblada en 8 puestos de trabajo y el diseño de la celda robotizada de 40 v/h del capítulo 4.4.4, tenemos en total **10 MOD**. Entonces a partir de la tabla 9 y 14, los 10 operarios producirán 320 vehículos por turno de los cuales 128 son de J1, 96 de J2, 64 de J3 y 32 de J4.

Para producir según el mix 4-3-2-1 para un lote de 10 subconjuntos que demanda Metal Line, los operarios de la línea de soldadura sin tener en cuenta los de la OP7 y 8 de carga de celda y abisagrado, deben desplazarse de una línea a otra según el siguiente esquema:

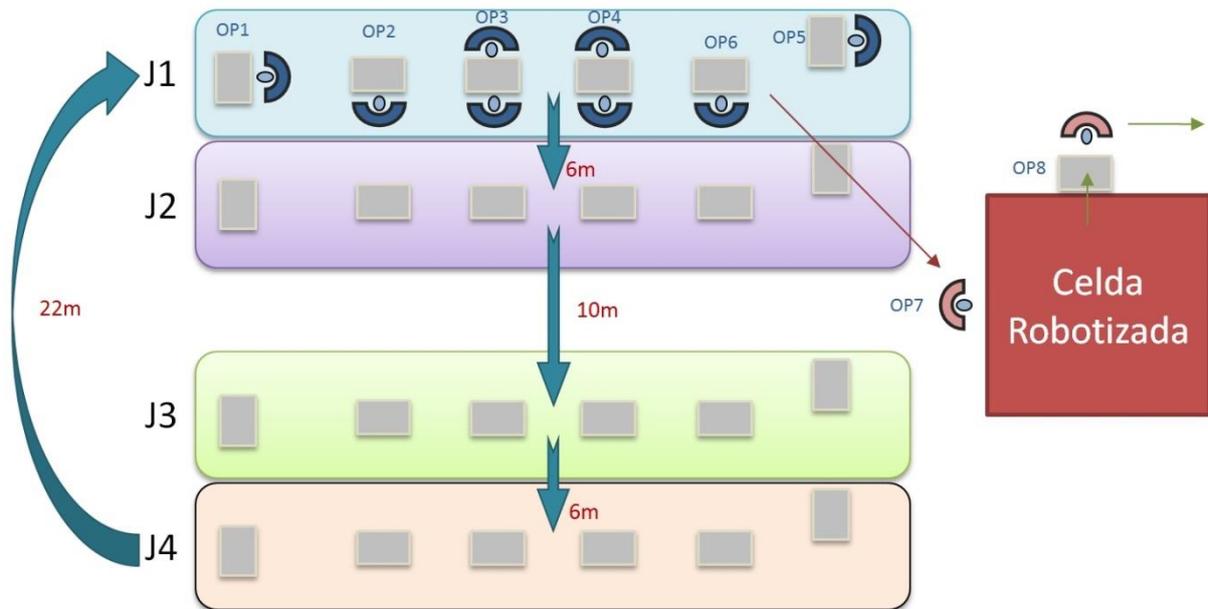


Figura 4.15 – Desplazamientos operarios configuración 40 v/h. Isla independiente.

Los datos de distancias son de la tabla 8. En total, para cada ciclo de 10 puertas fabricadas, los 8 MOD deben desplazarse 44m. Este tiempo muerto de desplazamiento debe ser absorbido por el tiempo ciclo, de la misma forma que se hizo con SMED para la isla flexible.

Por datos empíricos, la velocidad promedio de un operario es de 0,8 m/s. Por lo tanto, para una producción diaria de 320 vehículos la pérdida total de tiempo es de:

	40 v/h
Tiempo perdido por ciclo [s]	55
Tiempo perdido total en 320v [s]	1760
Tiempo perdido total en 320v [min]	29,3
Tiempo a absorber TT [cmin]	9,17
Tiempo perdido total para 4x ciclo [min]	7,3
Tiempo a absorber TT con 4x ciclo [cmin]	2,29

Tabla 15 – Tiempo muerto NVA desplazamientos.

El tiempo perdido por ciclo es el tiempo muerto cada 10 puertas (lote del mix). Para 320 puertas, hay por lo tanto 32 ciclos, y para absorber todo ese NVA, se divide por 320 para obtener el valor de tiempo a quitar del TT. Al ser muy elevado 9,17 cmin, e inviable mejorar el tiempo ciclo de la línea, no queda otra alternativa que generar un pequeño pulmón con los interpuestos FIFO que abastecen a la celda robotizada. Esto se traduce a no respetar el lote del mix, y tener que generar un pequeño stock para nivelar el mix.

En la tabla se logró obtener un valor correcto de tiempo muerto a absorber de 2,29 cmin, muy similar al obtenido con SMED para el intercambio de dispositivo y por lo tanto absorbible por la OP4 cuello de botella. En otras palabras, deben realizar 4 ciclos seguidos en vez de uno, quiere decir que en vez de producir 4 puertas en J1,

producirán 16 y recién cambiarán de modelo. Resumiendo, para reducir 4 veces el tiempo muerto y llegar a 2,29 cmin, se debe pasar de un lote de 10 puertas a uno de 40 y generar un stock intermedio en los interpuestos 4 veces mayor para poder abastecer la celda robotizada según el mix fijo.

Se estaría incumpliendo con la metodología JIT, pero la consecuencia de querer producir según el mix fijo trae consigo un alto NVA que no se puede absorber. Sin embargo, este pequeño pulmón en los interpuestos FIFO no genera un stock considerable y mucho menos nocivo para el proceso.

En conclusión, los 8 MOD realizarán un ciclo completo pasando por todos los modelos cada 40 vehículos, y entonces habrá 8 ciclos por turno en vez de 32. Cabe aclarar que los puesto 7 y 8 trabajan según el mix y que los carros están sincronizados con la línea gracias al pulmón generado, antes que producir según la regla 4-3-2-1.

60 v/h

Para esta cadencia, ya no es viable producir 480 vehículos con solo una dotación de MOD, porque la isla entera tendría un déficit de 160 puertas. Ya se dijo que no es posible seguir desdoblado puestos y que la línea de armado no puede fabricar más de 40 v/h. La alternativa que surge es de agregar una segunda dotación de operarios y disminuir a la mitad la cadencia requerida.

Esto quiere decir que las dos dotaciones de operarios fabricarán 2 modelos cada uno en vez de 4. Pero debe ser equitativo y para eso se replantea la secuencia de los modelos:

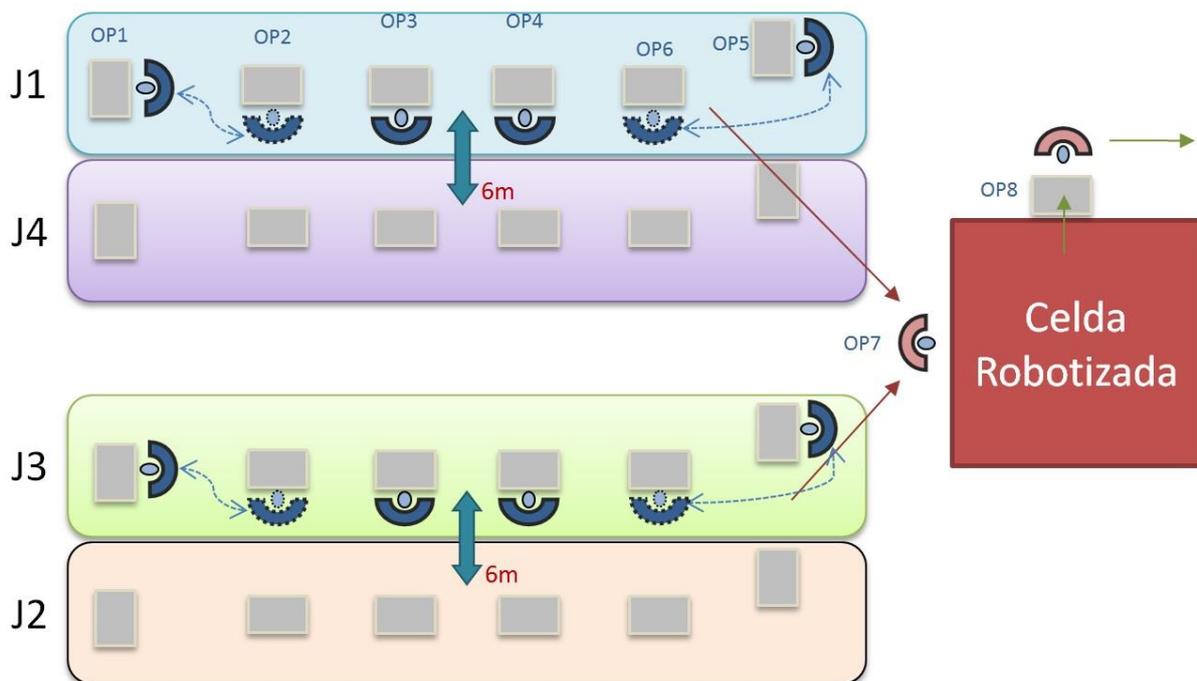


Figura 4.16 - Desplazamientos operarios configuración 60 v/h. Isla independiente.

Según la tabla 9, para reagrupar los modelos y producir 50% en dos líneas basta con unificar J1 con J4 y J3 con J2. De esta forma obtenemos dos líneas de cadencias iguales que producen a 30 v/h.

Al ser la cadencia menor a 40 v/h, se debe rebalancear los puestos para quitar MOD innecesaria. Primero se empieza tomando el nuevo TT para 30 v/h de la tabla 14: **173,6 cmin**. Luego se inicia quitando MOD en el cuello de botella, en la OP4 y 3 se quita uno dejando los puestos con un solo MOD fijo, se analiza de nuevo el Tc del puesto modificando los cuadros 4.5 y 4.6:

OP4 - Refuerzo anti-intrusión					1 MOD
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel subconjunto
2	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	1	5	refuerzo antiintrusión
3	Validación	1	1	1	
4	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	2	5	
5	Mover pinza	1,5	10	15	pinza X
6	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
7	Mover pinza	1,5	11	16,5	pinza J
8	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
9	Mover pinza	1,5	26	39	pinza X
10	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
11	Mover pinza	1,5	14	21	pinza J
12	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	20 puntos totales
13	Despejar pinza	2	1	2	
14	Validación	1	1	1	
15	Evacuar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	6	1	6	

TC Total	168,5
-----------------	--------------

Cuadro 4.12 - Estudio tiempo ciclo OP4.

El Tc total de 168,5 cmin es inferior al TT para 30 v/h y el nuevo balanceo es válido.

Con respecto a la OP3, su nuevo Tc es de 155,5 cmin. Por lo tanto la OP4 sigue siendo cuello de botella al tener el mayor Tc.

OP3 - Guía de vidrio				1 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	1	7	panel subconjunto
2	Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	2	10	guia de vidrio 2 partes
3	Validación	1	1	1	
4	Enganchar/desenganchar pinza	2,5	2	5	2 pinzas X y J
5	Mover pinza	1,5	8	12	
6	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
7	Mover pinza	1,5	18	27	
8	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	5	12,5	
9	Mover pinza	1,5	23	34,5	
10	Realizar SR espesor de chapa:1,5 < espesor de chapa<= 2	2,5	10	25	20 puntos totales
11	Despejar pinza	2	1	2	
12	Validación	1	1	1	
13	Evacuar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	6	1	6	

TC Total	155,5
-----------------	-------

Cuadro 4.13 - Estudio tiempo ciclo OP4.

Ya se ganaron 2 MOD, ahora se pueden analizar los otros puestos. La OP1 tiene un tiempo ciclo muy bajo de 61 cmin, convendría unificar puestos con la OP2 que posee 101 cmin de Tc. Entre los dos puestos lo puede realizar un solo MOD ya que la suma, 162 cmin es inferior al TT. Por otro lado la operación de colocación de sellador tiene un Tc de 72 cmin y puede unirse a la de hermanado con 100 cmin, alcanzando justo el límite para takt time y convirtiéndose en el nuevo cuello de botella.

En consecuencia del nuevo balanceo para líneas de 30 v/h se ganaron en total 4 MOD, dejando el conjunto de la isla con solo **10 MOD** igual que para 40 v/h.

Encima, los desplazamientos se redujeron drásticamente de 44m a solo 12m, y el tiempo muerto de NVA disminuyó significativamente con lo cual se puede producir con lotes de 10 puertas siguiendo la secuencia del mix sin necesidad de generar un pulmón intermedio.

La configuración de la celda robotizada se toma del capítulo 4.4.4 para 60 v/h con 3 robots.

La implantación de la isla se encuentra en el Anexo 2.

80 v/h

Para esta cadencia se utiliza la misma lógica que para la de 60 v/h solo que ahora la mitad de la cadencia corresponde nuevamente a 40 v/h, es decir, al tope de cadencia.

Se toma la misma configuración anterior solo que con el balanceo de 40 v/h:

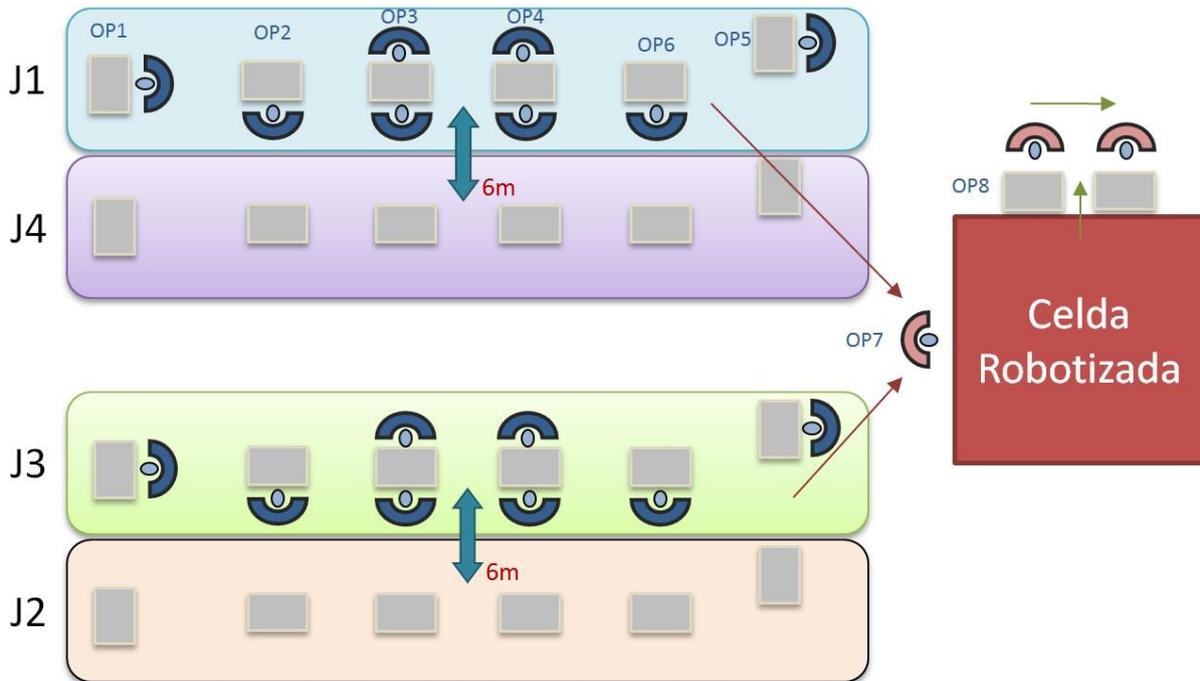


Figura 4.17 - Desplazamientos operarios configuración 60 v/h. Isla independiente.

Los desplazamientos son iguales al punto anterior y no se consideran. En total para producir 80 v/h hacen falta 18 MOD. La celda robotizada se toma la del capítulo 4.4.4 a 80 v/h con 4 robots y la implantación completa se encuentra en el Anexo 2.

Algo que sí se modifica es el abisagrado, ya que no cumple con el TT de 80 v/h de 65,1 cmin. El puesto OP8 tiene un Tc de 85 cmin superior y por lo tanto se debe desdoblarse en dos dispositivos híbridos reduciendo el Tc a la mitad e incrementando el total de **MOD a 19**.

100 v/h

Para esta cadencia volvemos a la situación del límite de cadencia. Con doble dotación de operarios no es suficiente, así que se agrega una tercera línea de MOD para poder producir. Ahora la proporción de volúmenes entre los modelos no es pareja y se debe analizar.

Para 100 v/h se producen por turno un total de 800 vehículos con la siguiente proporción: J1 con 320, J2 con 240, J3 con 160 y J4 con 80. Las cadencias respectivas de los modelos son de 40, 30, 20 y 10 v/h como la tabla 9 lo indica.

Por lo tanto una configuración lógica es colocar una línea de MOD fija para J1 preparada para 40 v/h con 8 MOD, una segunda línea fija para J2 de 30 v/h con 4 MOD y por último una línea móvil de 4 MOD para J3 y J4 que suman entre las dos 30 v/h. A continuación el esquema de la nueva configuración:

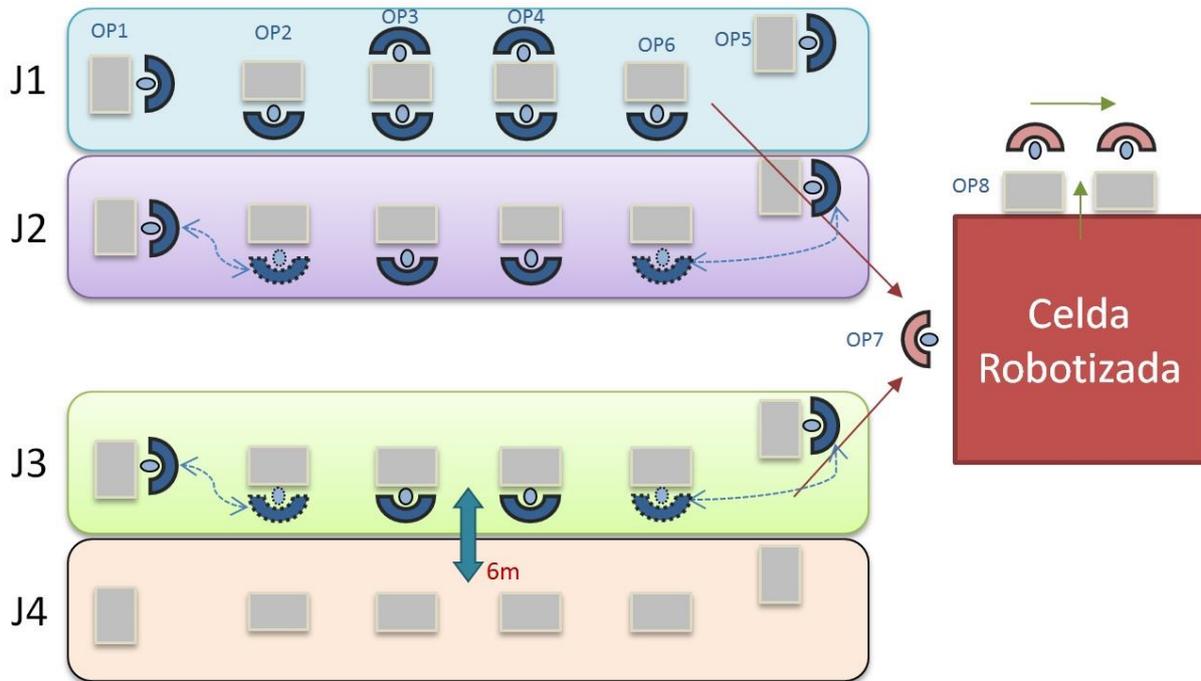


Figura 4.18 - Desplazamientos operarios configuración 60 v/h. Isla independiente.

En total suman una dotación de **19 MOD**, igual que para 80 v/h. La celda robotizada se diseña para 100 v/h con 6 robots según los resultados del capítulo 4.4.4 y la implantación completa se encuentra en el Anexo 2.

El puesto de abisagrado sigue siendo válido ya que el TT para 100 v/h es de 52,1 cmin, superior al Tc de 42,5 cmin de la OP8.

4.5.2 Balanceo isla flexible

Para la isla flexible la metodología de diseño y balanceo es el mismo que para las islas independientes, con la diferencia de que la celda robotizada no tiene el mismo funcionamiento al trabajar por ráfagas y que en vez de desplazamientos de operarios tenemos intercambio de dispositivos que ya ha sido desarrollado con anterioridad implementando SMED.

Para esta ocasión no se tendrá en cuenta la isla de stock intermedio ni del puesto de secuenciado.

En el Anexo 2 se encuentran las 4 implantaciones de isla flexible para cada una de las cadencias.

40 v/h

Para utilizar la isla mejorada de armado de partes móviles como isla flexible, se le agrega el sistema de intercambio de dispositivos del capítulo 4.4.3, que ya ha sido optimizado. Esta isla preparada para 40 v/h ya tiene incorporada la absorción de tiempo muerto del SMED, con lo cual está lista para fabricar las 320 puertas.

En la implantación se puede ver el conjunto de la isla con todas las operaciones junto con los rieles, estanterías, autoelevador y acceso para realizar el intercambio de las OP2, 3, 4 y 6. La OP5 ha sido movida en diagonal para permitir el acceso a la operación de hermanado, y los carros de panel exterior se sitúan sobre el acceso pero se mueven en el momento del intercambio.

Lo que se debe analizar ahora es la celda de agrafado. A diferencia de la celda JIT, esta debe trabajar en forma de ráfaga por lotes, debido a la naturaleza de la isla flexible. Esto significa que no se pueden desdoblar los puestos de pestañado ya que no se aprovecha la mesa cuádruple con los 4 modelos a la vez, y en consecuencia no hay posibilidades de llegar a altas cadencias con esta configuración.

Al producir en lotes, el tiempo ciclo total abarca desde el momento en que carga la pieza sobre la cuna hasta que vuelve a cargar otra pieza del mismo modelo. Es decir, la celda robotizada produce una pieza a la vez y está restringida a la cantidad máxima de 3 robots que pueden agrafar a la vez.

		con E = 0,9					
Px anual por turno [miles]	Cadencia [v/h]	Takt Time [Cmin]	Cantidad de robots	Longitud por robot Lr [m]	Lr / Vcabezal [s]	Tiempo robot [Cmin]	Tiempo ciclo Total [Cmin]
60	30	173,6	1	12	60	100	141
80	40	130,2	2	6	30	50,0	91

Tabla 16 - Cálculo de cantidad de robots para distintas cadencias. Isla flexible.

Esto quiere decir que el tiempo ciclo total comprende el tiempo muerto de carga, giro y descarga de una pieza. La tabla 16 toma la misma metodología que la utilizada para la isla independiente (tabla 13), solamente que la eficiencia en esta celda es del 100% ya que los robots están trabajando en todo momento por más que puedan producir de a uno a la vez.

Al tiempo ciclo robot se le suma los siguientes tiempos muertos:

Tiempo de giro 360°	15 cmin
Tiempo de carga OP7	16 cmin
Tiempo de descarga (automática)	10 cmin
Total NVA	41 cmin

Tabla 17 – Tiempo muerto celda robotizada. Isla flexible.

Para una isla de 40 v/h es necesario por lo tanto 2 robots. El puesto de abisagrado tendrá un solo MOD pero a la vez realizará la tarea de carga de piezas OP7 que se detalla a continuación:

OP7/8 - Cargado de piezas celda robotizada y Abisagrado				1 MOD	
	Actividad	Tiempo unitario [cmin]	Cantidad	Tiempo total [cmin]	Comentario
1	Cargar gran pieza montaje con ayuda motorizada	30	1	30	manipulador y carga en dispositivo híbrido
2	Montar pequeño IFF/adhesivo L≤10 cm	7	2	14	adhesivo protección
3	Fijar 1 tornillo o tuerca	4	4	16	2 tornillos por bisagra
4	Evacuar gran pieza de un montaje hacia contenedor con ayuda motorizada	25	1	25	evacuación con manipulador a carro secueciado mix
5	Desplazamiento 10m a puesto de carga [0,8 m/s caminando]	0,8	10	12,5	camina 10m ida
6	Cargar gran pieza montaje con ayuda motorizada	14	1	14	manipulador y carga en cuna de agrafado
7	Control visual o manual (por característica)	1	1	1	control localización pilotos
8	Validación	1	1	1	
5	Desplazamiento 10m a puesto de abisagrado [0,8 m/s caminando]	0,8	10	12,5	camina 10m vuelta

TC Total	126
-----------------	------------

Cuadro 4.14 - Estudio tiempo ciclo OP7 y 8 combinadas.

El tiempo de las operaciones combinadas es menor al TT de 40 v/h: **130,2 cmin**, y por lo tanto la celda robotizada la opera un solo MOD tanto para carga como para abisagrado. Lo único a mencionar es que los robots serán más rápidos y en consecuencia la cuna esperará un pequeño intervalo de tiempo para ser cargada y validada.

Esta configuración requiere una suma de **9 MOD** en total.

60 v/h

Al alcanzar los 60 v/h, la isla excede su capacidad y solo puede producir esta cantidad con una segunda línea flexible. Como ya se hizo para la isla independiente, se toma el 50% de la Px, J1 y J4 de un lado y J2 y J4 del otro, de esta forma se tienen dos líneas flexibles a 30 v/h cada una. Cada línea balanceada con 4 MOD.

La celda robotizada es lo que cambia. Al haberse generado un flujo de piezas paralelo y en ráfaga, una sola celda robotizada no funciona ya que no están sincronizadas. La alternativa más viable es duplicar la celda robotizada pero ahora con mesas dobles y no con cuádruples, ya que cada línea produce solo dos modelos.

El cálculo en la tabla 16 tiene presente la configuración de la celda robotizada para una cadencia de 30 v/h, con solo 1 robot es suficiente, y el puesto combinado 7/8 está holgado.

Esta configuración requiere una suma de **10 MOD** en total, como se puede ver en la implantación.

80 v/h

La misma configuración anterior solo que con doble línea flexible para 40 v/h y 9 MOD cada una.

La doble celda robotizada adquiere la configuración de 40 v/h con 2 robots cada una.

Esta configuración requiere una suma de **18 MOD** en total, como se puede ver en la implantación.

100 v/h

Para cadencia máxima, la situación cambia.

Se debe agregar una tercera línea. Esto significa que ya deja de ser isla flexible y se convierte en una isla híbrida con parte flexible y parte independiente, pero no deja de ser una producción en ráfaga ya que con tal solo una línea flexible impide fabricar justo a tiempo.

La configuración es similar a la de máxima cadencia para isla independiente: una línea para J1 de 40 v/h independiente, una línea para J2 de 30 v/h independiente y finalmente una isla flexible para J3 y J4 con 30 v/h.

Esta configuración se esquematiza de la siguiente forma:

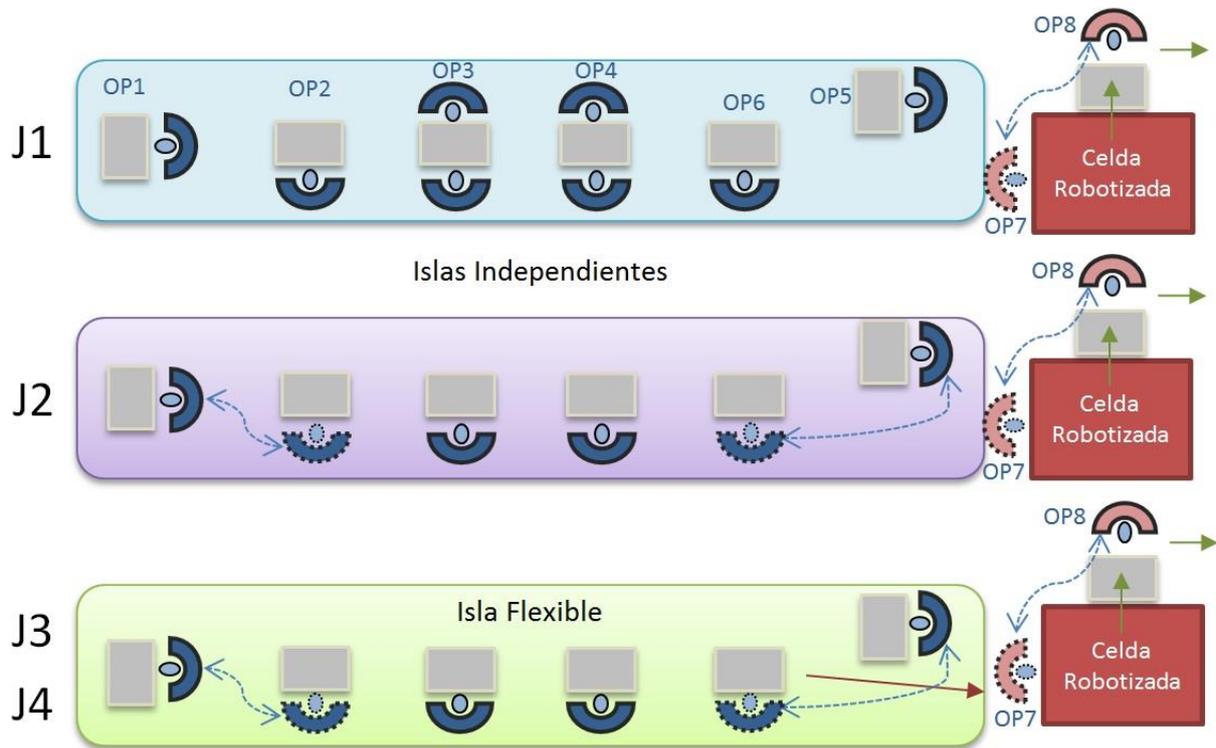


Figura 4.19 – Configuración híbrida para alta cadencia.

Esta configuración requiere una suma de **19 MOD** en total, como se puede ver en la implantación.

Como resultado del balanceo para las dos opciones de producción, se resume en el siguiente cuadro la cantidad de MOD necesarias para cada cadencia:

Demanda por año	Cadencia v/h	MOD	
		Isla Independiente	Isla Flexible
80 000	40	10	9
120 000	60	10	10
160 000	80	19	18
200 000	100	19	19

Tabla 18 – Cantidad de MOD necesarias por cadencia.

Así concluye el capítulo 4 del análisis de partes móviles. Ya se desarrolló todo lo necesario para poder comparar ambos métodos de fabricación y volcarlo a un análisis económico-financiero que arrojará como resultado el más conveniente para cada situación.

Capítulo 5. Estudio económico y financiero

5.1 Análisis de comparación

Habiendo desarrollado en el capítulo anterior el proceso de fabricación de PM, con las dos opciones posibles para los 4 niveles de cadencias, se procede a comparar las alternativas mediante un estudio económico-financiero.

Según Sapag Chain (2008), la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión es un proceso que se lleva a cabo en la fase de Preinversión. Es una fase analítica y puede ser asumida como un proceso que parte desde la detección de la necesidad y la concepción de una idea sobre una solución que pueda satisfacerla, hasta lograr como resultado, la formulación de un proyecto de inversión factible y conveniente.

La finalidad esencial de las actividades de evaluación es la definición de la conveniencia de llevar a cabo el proyecto, que se hace sobre la base de los flujos de fondos monetarios a fin de estimar la rentabilidad y otros indicadores que contribuyen a aportar elementos de juicios para decidir si el proyecto se ejecuta o se rechaza.

En este PI el objetivo del estudio económico es la **comparación** de dos formas de fabricación distintas, y no analizar la rentabilidad de una terminal automotriz. Por lo tanto, solamente se tendrán en cuenta los egresos, excluyendo así del estudio a los ingresos, debido a que se venderán la misma cantidad de autos indistintamente de la opción que se elija.

Al estar realizando un análisis global para una terminal automotriz en el mundo, se tomará una moneda de cambio fuerte para el estudio, siendo esta el **€ Euro**.

Por la naturaleza del estudio se tendrán en cuenta las siguientes limitaciones:

1. No se tienen en cuenta los Ingresos.
2. Moneda utilizada € Euro.
3. Al no incluir ingresos, no genera ganancias y por lo tanto no se tienen en cuenta los Impuestos. Cabe resaltar que las inversiones en bienes importados ya tienen incluido en el precio los impuestos por importación.
4. Período de estudio será de 6 años, siendo esta cantidad de años el promedio de la vida de los proyectos de fabricación de vehículos.
5. No se tendrán en cuenta las depreciaciones y amortizaciones de activos, debido a que son no erogables y al no haber impuestos no se pueden deducir del mismo.

6. El financiamiento no forma parte del estudio, se considerará que el capital de inversión es propio.
7. Al ser un análisis de comparación y realizar un flujo de fondos únicamente con egresos, el índice que se utiliza es el VAN (valor actual neto) y se descarta la TIR (tasa interna de retorno).
8. Los costos variables también se descartan ya que al estar comparando dos opciones a la misma cadencia, los insumos, materiales, etc son los mismos, y en la ecuación los Cv se simplifican.
9. Al trabajar con moneda EURO, no se considera la inflación.

Por último, se debe definir la TAR (tasa atractiva de rentabilidad). Las empresas automotrices, al analizar un proyecto de inversión interno, utilizan una **TAR del 12%** siendo esta tasa una variable indicada por el área financiera. Está compuesta por las siguientes variables:

$$TAR = r = \text{Costo de Oportunidad} + \text{Prima por Riesgo} + \text{Riesgo País}$$

$$TAR \text{ proyecto PI} = 12\% = 6\% + 5\% + 1\%$$

Este valor difícil de obtener y muy importante para el proyecto, se consiguió en el área de compras de Renault.

Luego de fijar bien el perímetro del estudio económico se prosigue con el análisis de costos e inversiones y finalmente con los flujo de fondos, los cuales definirán la toma de decisión.

5.2 Cotizaciones. Estructura de costos e inversiones

Para el análisis de comparación se tendrán en cuenta dos variables, los costos fijos y la inversión inicial. Para poder cotizar este proyecto, retomamos la implantación mejorada con VSM y estudio de tiempo en la figura 4.9 y 4.10. Con esta isla simplificada del armado de partes móviles, están presentes todos los medios necesarios para la fabricación y se los puede individualizar.

Todos los datos de costos e inversión fueron obtenidos tanto de terminales automotrices de Córdoba como también de sus proveedores. A continuación se muestra una tabla con cada uno de los ítems presentes en la implantación mejorada:

Gasto/Inversión	Monto Unitario €
MOD (anual)	35 000 €
MOD logístico (anual)	25 000 €
Manipulador	13 000 €
Dispositivo	80 000 €
Dispositivo de apoyo	8 000 €
Dispositivo híbrido abisagrado	45 000 €
Intercambio SMED (por puesto)	48 000 €
Calibre de control	32 000 €
Autoelevador	25 000 €
Estanterías de almacenaje	11 000 €
Atornillador neumático	10 000 €
Remachadoras	3 000 €
KBK + instalación (por módulo)	4 500 €
Pinza de soldadura ARO	15 000 €
Celda robotizada con mesa giratoria y 2 cunas	45 000 €
Celda robotizada con mesa giratoria y 4 cunas	90 000 €
Robot ABB + programación + instalación	55 000 €
Extracción automática	10 000 €
Bomba sellador mastic	26 000 €
M2 Galpón industrial	550 €
M2 acometidas eléctrica + neumática + refrigeración	650 €
Interpuesto gravitatorio	3 300 €
Rack de embutición	1 950 €
Carros full kitting	1 100 €

Tabla 19 – Costos fijos e Inversiones implantación mejorada modelo.

Cada punto ha sido debidamente desarrollado en el capítulo de diseño de la isla, tanto para la flexible como la independiente. Con los costos unitarios, ahora se calculan los egresos totales para cada cadencia y tipo de producción.

5.2.1 Isla Independiente

Analizando cada implantación de la isla independiente en los anexos, se confecciona una tabla detallando cada uno de los costos/inversión para cada cadencia.

Dentro de los costos fijos tendremos únicamente la mano de obra directa. Para la inversión inicial, se divide en línea de producción y obras físicas, esto se debe a que al finalizar el período de 6 años se recupera un valor residual de la inversión según la naturaleza del activo. El porcentaje de valor residual son del 40% para las líneas de producción y de 60% para las obras físicas.

Los metros cuadrados de cada implantación definen los costos de las obras físicas, por un lado la obra civil (piso, techo, estructura metálica, etc.) y por el otro todas las acometidas de energía (electricidad, aire comprimido y circuito de refrigeración).

A continuación se detalla la tabla con todos los valores calculados:

	Cadencias							
	40 v/h		60 v/h		80 v/h		100 v/h	
	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total
Costos Fijos								
MOD	10	350 000 €	10	350 000 €	19	665 000 €	19	665 000 €
Total CF		350 000 €		350 000 €		665 000 €		665 000 €
Inversión Inicial								
Dispositivo de geometría	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €
Dispositivo de apoyo	6	48 000 €	6	48 000 €	6	48 000 €	7	56 000 €
Dispositivo híbrido abisagrado	1	45 000 €	1	45 000 €	2	90 000 €	2	90 000 €
Atornillador neumático	1	10 000 €	1	10 000 €	2	20 000 €	2	20 000 €
Remachadoras	4	12 000 €	4	12 000 €	4	12 000 €	4	12 000 €
KBK + instalación	24	108 000 €	24	108 000 €	24	108 000 €	24	108 000 €
Pinza soldadora ARO	44	660 000 €	44	660 000 €	44	660 000 €	44	660 000 €
Celda robotizada con mesa giratoria y 4 cunas	1	90 000 €	1	90 000 €	1	90 000 €	1	90 000 €
Robot ABB + programación + instalación	2	110 000 €	3	165 000 €	4	220 000 €	6	330 000 €
Extracción automática	1	10 000 €	1	10 000 €	1	10 000 €	1	10 000 €
Bomba sellador mastic	2	52 000 €	2	52 000 €	2	52 000 €	2	52 000 €
Manipulador	6	78 000 €	6	78 000 €	7	91 000 €	7	91 000 €
Interpuesto gravitatorio	4	13 200 €	4	13 200 €	4	13 200 €	4	13 200 €
Total Línea de Producción		2 836 200 €		2 891 200 €		3 014 200 €		3 132 200 €
M2 Galpón industrial	1300	715 000 €	1300	715 000 €	1350	742 500 €	1400	770 000 €
M2 acometidas eléctrica+ neumática +refrigeración	1300	845 000 €	1300	845 000 €	1350	877 500 €	1400	910 000 €
Total Obras Físicas		1 560 000 €		1 560 000 €		1 620 000 €		1 680 000 €

Tabla 20 – Gastos e Inversión isla independiente.

Para el Flujo de Fondos se toman los 3 totales para cada una de las cadencias.

5.2.2 Isla Flexible

De la misma manera que se confeccionó la tabla de costos/inversión para la isla independiente, se efectúa para la isla flexible tomando las implantaciones de los anexos. Se añaden los costos de lo que implica la flexibilidad: intercambio SMED, autoelevador, estanterías de almacenaje y celda robotizada de 2 cunas.

	Cadencias							
	40 v/h		60 v/h		80 v/h		100 v/h	
	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total
Costos Fijos								
MOD	9	315 000 €	10	350 000 €	18	630 000 €	19	665 000 €
Total CF		315 000 €		350 000 €		630 000 €		665 000 €
Inversión Inicial								
Dispositivo de geometría	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €	20	1 600 000 €
Intercambio SMED	4	192 000 €	8	384 000 €	8	384 000 €	4	192 000 €
Dispositivo de apoyo	2	16 000 €	4	32 000 €	4	32 000 €	6	48 000 €
Dispositivo híbrido abisagrado	1	45 000 €	2	90 000 €	2	90 000 €	3	135 000 €
Autoelevador	1	25 000 €	1	25 000 €	1	25 000 €	1	25 000 €
Estanterías de almacenaje	4	44 000 €	8	88 000 €	8	88 000 €	4	44 000 €
Atornillador neumático	1	10 000 €	2	20 000 €	2	20 000 €	3	30 000 €
Remachadoras	1	3 000 €	2	6 000 €	2	6 000 €	3	9 000 €
KBK + instalación	6	27 000 €	12	54 000 €	12	54 000 €	18	81 000 €
Pinza soldadura ARO	11	165 000 €	22	330 000 €	22	330 000 €	33	495 000 €
Celda robotizada con mesa giratoria y 2 cunas	0	- €	2	90 000 €	2	90 000 €	3	135 000 €
Celda robotizada con mesa giratoria y 4 cunas	1	90 000 €	0	- €	0	- €	0	- €
Robot ABB + programación + instalación	2	110 000 €	2	110 000 €	4	220 000 €	4	220 000 €
Extracción automática	1	10 000 €	2	20 000 €	2	20 000 €	3	30 000 €
Bomba sellador mastic	1	26 000 €	2	52 000 €	2	52 000 €	3	78 000 €
Manipulador	2	26 000 €	4	52 000 €	4	52 000 €	6	78 000 €
Total Línea de Producción		2 389 000 €		2 953 000 €		3 063 000 €		3 200 000 €
M2 Galpón industrial	610	335 500 €	1280	704 000 €	1280	704 000 €	1850	1 017 500 €
M2 acometidas eléctrica+ neumática +refrigeración	530	344 500 €	1110	721 500 €	1110	721 500 €	1510	981 500 €
Total Obras Físicas		680 000 €		1 425 500 €		1 425 500 €		1 999 000 €

Tabla 21 - Gastos e Inversión isla flexible.

5.2.3 Pérdida por inventario

Un punto importante para evidenciar, es la diferencia de pérdidas por stock que tiene la producción por lotes en contrapartida con la producción JIT. Para la isla flexible se deben agregar gastos e inversiones extras para poder respaldar el inventario de partes móviles generadas por las ráfagas.

Recordando los puntos 4.2.2 y 4.4.5, tenemos un operador extra para el puesto de secuenciado, un operador logístico extra para cadencias altas, un puesto de secuenciado, todos los carros de stock para almacenar las PM y m² de depósito ocupados. Además hay que considerar la degradación de piezas y retoques por el aumento de trasvaso de piezas de un carro a otro, que se estima en un 5% del total de piezas.

	Costo extra
Costo puerta Fluence	28 €
Alquiler m2 depósito (anual)	84 €
Carro puertas stock	1 400 €
Puesto de secuenciado	20 000 €

	Cadencias							
	40 v/h		60 v/h		80 v/h		100 v/h	
	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total	Cantidad	Costo Total
Gastos Extras								
MOD	1	35 000 €	1	35 000 €	1	35 000 €	1	35 000 €
MOD logístico	0	- €	0	- €	1	25 000 €	1	25 000 €
Alquiler m2 depósito	160	13 440 €	240	20 160 €	320	26 880 €	400	33 600 €
Degradación piezas y retoques 5%	320	448 €	480	672 €	640	896 €	800	1 120 €
Total GE		48 888 €		55 832 €		87 776 €		94 720 €
Inversión Extra								
Carros puertas stock (capacidad 10 puertas c/u)	32	44 800 €	48	67 200 €	64	89 600 €	80	112 000 €
Puesto de secuenciado	1	20 000 €	1	20 000 €	1	20 000 €	1	20 000 €
Total Línea de Producción		64 800 €		87 200 €		109 600 €		132 000 €

Tabla 22 – Gastos e inversión extra por inventario.

Los m² de depósito y la cantidad de carros fueron tomados de la figura 4.3. El costo de la puerta, abarca la chapa como materia prima, el estampado, la logística y el proceso de armado. Se tomó como ejemplo una puerta de Renault Fluence.

Además de los gastos extras, también hay que sumarle las pérdidas financieras por capital inmovilizado. Es decir, el inventario es un activo inmovilizado por lo cual no puede generar beneficios y se debe considerar su costo financiero a partir de la TAR del proyecto. Por otro lado los gastos e inversión extras también tienen un costo financiero ya que el propio inventario los generó. La sumatoria de estas pérdidas resulta en la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida Financiera} = \text{TAR} \times \text{Capital inmovilizado} + (\text{TAR} + 1) \times (\text{Gastos extras} + \text{Inversión extra})$$

Costo Financiero Stock	Cadencias			
	40 v/h	60 v/h	80 v/h	100 v/h
Vehículos por turno	320	480	640	800
Capital inmovilizado piezas	8 960 €	13 440 €	17 920 €	22 400 €
Pérdida capital inmovilizado	1 075 €	1 613 €	2 150 €	2 688 €
Pérdida gastos extras	5 867 €	6 700 €	10 533 €	11 366 €
Pérdida inversión extra	7 776 €	10 464 €	13 152 €	15 840 €
Total Pérdidas Financieras	14 718 €	18 777 €	25 836 €	29 894 €

Tabla 23 – Costo financiero inventario.

El costo financiero se añade a los gastos anuales computándose como pérdida neta.

5.3 Flujo de Fondos

Los Flujo de Fondos se pueden ver en el Anexo 3.

Como ya se mencionó, el análisis se realiza con el valor del índice VAN, siendo este un valor negativo ya que solo se han tenido en cuenta los egresos. A continuación se muestra una tabla de comparación con los valores obtenidos:

Demanda por año	Cadencia v/h	VAN	
		Isla Independiente	Isla Flexible
80 000	40	- 4 786 223 €	- 3 986 428 €
120 000	60	- 4 830 077 €	- 5 162 014 €
160 000	80	- 6 265 005 €	- 6 579 133 €
200 000	100	- 6 400 854 €	- 7 294 535 €

Tabla 24 – Comparación valores VAN.

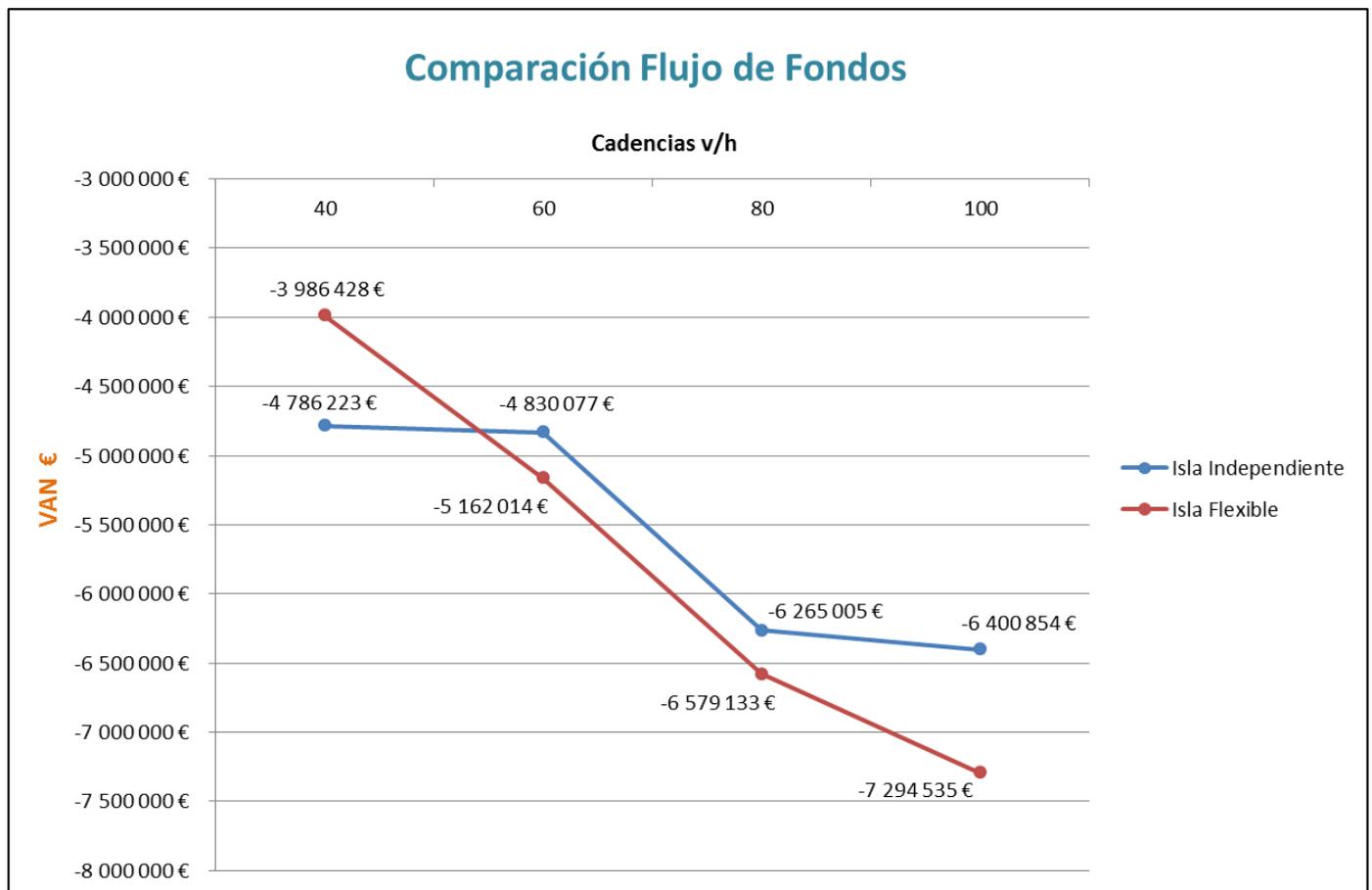


Gráfico 1 – Comparación Flujo de Fondos.

Como se puede constatar en la tabla 24 y gráfico 1, para 40 v/h la isla flexible tiene un ahorro de casi 800 000 € con respecto a la independiente. Siguiendo la curva VAN de las islas, estas se intersectan para una cadencia de 53 v/h, a partir de la cual la isla independiente pasa a ser más rentable y se mantiene para las demás cadencias. Para 60 y 80 v/h las diferencias de VAN son cercanas a los 300 000 €, pero ya para máxima cadencia la diferencia es significativa: 900 000 €.

En definitiva, para cadencia baja, es preferible optar por una isla flexible por más que se trabaje en lotes, debido a su efectividad de utilización de recursos, más que nada en el tamaño que ocupa (mitad de la independiente) y los medios de fabricación que utiliza. Con respecto a la mano de obra directa no tiene gran incidencia en los valores finales ya que ambas opciones difieren en solo 1 MOD.

A partir de 53 v/h siempre es conveniente optar por una isla independiente, la metodología JIT aprovecha al máximo los medios sin necesidad de inventario intermedio.

Capítulo 6. Conclusiones

Después de haber finalizado el análisis completo de factibilidad entre la producción en lotes y JIT, el autor puede concluir que para el caso particular del armado de partes móviles, a nivel mundial, la decisión recae directamente sobre el volumen de producción que posea la terminal automotriz. Esto quiere decir que para cadencias bajas menores a 50 v/h la producción en ráfaga es viable, contradiciendo así la filosofía Lean Manufacturing. Y para cadencias mayores a 50 v/h las ventajas de la producción JIT son indiscutibles. Esto quiere decir que no hay que tomar decisiones apresuradas con respecto a los ideales/paradigmas de fabricación, sino que se debe siempre analizar las alternativas propuestas por más que estas parezcan inapropiadas.

La toma de decisiones equilibrada es el factor clave para el éxito en todos los rubros. Los extremos, tanto para la industria tradicional como la moderna son subjetivos, y cada problema debe resolverse teniendo en cuenta contextos externos que pueden modificar el resultado. El Lean Manufacturing o el WCM pueden no ser apropiados si no se amoldan a contextos particulares de países o fábricas. La metodología de trabajo oriental no es compatible con la occidental, pero sí adaptable a cada entorno y necesidad.

Lo que sí el autor quiere resaltar está relacionado con el inventario. A pesar de que para cadencias bajas la isla flexible tenga sus ventajas, no hay que olvidar el gran problema del inventario generado. Como se mencionó en el capítulo 2, el inventario esconde los problemas, y eso es cierto, pero en este caso el stock está al final de la línea y no dentro del proceso. Por lo tanto, implementando todas las mejoras realizadas en el capítulo 4 con VSM, SMED y estudio de tiempos, la isla flexible se puede considerar como un proceso de alta eficiencia, donde el mantenimiento y la calidad deben asegurar la conformidad de las piezas fabricadas, ya que si un lote de partes móviles sale con defectos, recién se descubrirá al día siguiente perdiendo un día entero de producción.

Concluyendo este PI, se logra entender que en contextos económicos estables, el análisis de factibilidad y la toma de decisiones se simplifican considerablemente. A diferencia de nuestro país en el cual no contamos con esa estabilidad, necesitamos más que nadie una gran flexibilidad de respuesta hacia el mercado para asegurarnos el éxito.

Como conclusión personal, este PI conglomerará todos los conocimientos y herramientas adquiridas durante el cursado de la carrera, demostrando así la gran utilidad de cada una de las materias tratadas, tales como Procesos de Manufactura, Estudio del Trabajo, Planificación y Control de la Producción y Formulación de Proyectos. Por otro lado las herramientas de Lean Manufacturing se acoplan debidamente con la carrera de ingeniería y la realidad de una fábrica, plasmando toda la teoría sobre el terreno. Por último, la experiencia que se adquiere tratando de resolver problemas reales de manufactura, termina de formar a un ingeniero.

Bibliografía

BEALE, Claudina. 2013. *Gestión de Calidad*. Imprenta Cooperativa Ceicin – UNC.

BENÍTEZ MORALES, Celia. 2012. *WCM como perspectiva para el liderazgo empresarial. Estado del arte*. Master de organización industrial y gestión de empresas.

DOMINGUEZ MACHUCA José Antonio et al. 1995. *Dirección de operaciones: aspectos tácticos y operativos en la producción y servicios*. Madrid: McGraw-Hill.

GOLDRATT Eliyahu M. 2004. *La Meta: un proceso de mejora continua*. Tercera edición. Buenos Aires: Granica.

HEIZER Jay y RENDER Barry. 2007. *Dirección de la producción y de operaciones. Decisiones estratégicas*. Octava edición. España: Pearson Educación.

HERNÁNDEZ, Juan Carlos e IDOPE, Antonio. 2013. *Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOI.

KANAWATY George. 1996. *Introducción al estudio del trabajo*. Cuarta edición. OIT.

KOTLER, Philip. 1999. *El Marketing según Kotler*. Paidós

LIKER, Jeffrey K. y MEIER, David P. 2008. *El Talento Toyota*. Primera edición. México: McGraw-Hill Interamericana Editores.

MADARIAGA, Francisco. 2013. *Lean Manufacturing. Exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Bubok Publishing.

SAPAG CHAIN, N. y SAPAG CHAIN, R., 2008. *Preparación y evaluación de proyectos*. Quinta edición. México. McGraw-Hill Interamericana.

SCHONBERGER, Richard. 1986. *World Class Manufacturing: The Lessons of Simplicity Applied*. The Free Press.

WOMACK, James P. 1990. *The Machine That Changed the World*. Free Press.

Anexo 1. Tablas CTS de tiempos

Montar piezas (incluido el Coger)		
Actividad	Cmin.	Actividad realizada
Montar pequeña pieza no orientada	2	Tomar y montar
Montar pequeña pieza orientada (inf a 1kg)	3	Tomar y montar
Montar pieza orientada (inf a 8kg)	5	Tomar y montar
Montar pieza orientada (sup a 8kg) 1 operario	7	Tomar y montar
Montar pieza orientada (sup a 8kg) 2 operarios	6	Tomar y montar
Cargar una gran pieza sobre montaje con ayuda no motorizada	20	Tomar asistencia, tomar pieza , montar piezas y despejar la asistencia (no incluye desplazamiento)
Cargar gran pieza montaje con ayuda motorizada	14	Tomar asistencia, tomar pieza, montar pieza y despejar la asistencia (apoyo mantenido durante el desplazamiento)
Montar pequeño gabarit / guía puntos	3	Tomar y montar
Montar gran gabarit / guía puntos (2 manos)	5	Tomar y montar

Evacuar piezas (incluido el Coger)		
Actividad	Cmin.	Actividad realizada
Evacuar pequeña pieza orientada (inf a 1kg)	2	Tomar y evacuar
Evacuar pieza orientada (1kg <peso< 8kg)	4	Tomar y evacuar
Evacuar pieza orientada (peso>8kg) 1 operario	6	Tomar y evacuar
Evacuar pieza orientada (sup a 8kg) 2 operarios	5	Tomar y evacuar
Evacuar pequeño gabarit / guía puntos (1 mano)	2	Tomar y evacuar
Evacuar gran gabarit / guía puntos (2 manos)	4	Tomar y evacuar
Evacuar gran pieza de un montaje hacia contenedor con ayuda no motorizada	15	Tomar asistencia, tomar pieza despejar, montar pieza y despejar la asistencia (no incluye desplazamiento)
Evacuar gran pieza de un montaje hacia contenedor con ayuda motorizada	25	Tomar asistencia, tomar pieza despejar, montar piezas y despejar la asistencia (apoyo mantenido durante el desplazamiento)

Operaciones extras	Cmin.
Desplazamiento 1 paso	1
Dejar intermedio pieza mediana	1
Tomar intermedio pieza mediana	1
Dejar intermedio pieza grande	2
Tomar intermedio pieza grande	2

Soldadura con pinza		
Actividad	Cmin.	Actividad realizada
Realizar SR espesor de chapa $\leq 1,5$	1,5	Cmin/punto
Realizar SR espesor de chapa: $1,5 < \text{espesor de chapa} \leq 2$	2,5	Cmin/punto
Realizar SR espesor de chapa > 2	3,5	Cmin/punto
Enganchar pinza	2,5	Aproximar pinza, enganchar la pinza, posicionar la pinza, apretar gatillo para efectuar el punto SDR
Mover pinza	1,5	Desplazar pinza entre 2 puntos SDR sin salir de la pieza, apretar gatillo para efectuar punto SDR
Despejar pinza	2	Despejar la pinza fuera de la pieza
Complemento pinza en J	0,3	Cmin/punto
Girar/voltar pinza	2	Girar la pinza y volverla a coger
Complemento doble carrera	3,5	apretar gatillo, tiempo de apertura y de cierre pinza, soltar gatillo

Configuración de la Soldadura	Espesor de la chapa de referencia
2 chapas idénticas	Espesor de una de las 2 chapas
2 chapas diferentes	Espesor de la chapa más fina
3 chapas idénticas	Espesor de una de las 3 chapas
2 chapas idénticas + 1 diferente	Espesor de una de las 2 chapas idénticas + 0,2 mm
3 chapas diferentes	Espesor intermedio + 0,2 mm

Fijación mecánica		
Actividad	Cmin.	Actividad realizada
Apuntar 1 tornillo o tuerca apro manual	4	Apro tornillería, apuntado 2 hilos de rosca
Apuntar 1 tornillo con máquina	4	Apro tornillería, montar tornillería en atornilladora o en pieza, apuntar atornilladora, apretar gatillo, soltar gatillo
Bloquear 1 tornillo o tuerca	2	Colocar atornilladora en tornillo pre atornillado, apretar gatillo, soltar gatillo
Fijar 1 tornillo o tuerca	4	Apro tornillería, montar tornillería en atornilladora o en pieza, apuntar atornilladora, apretar gatillo, soltar gatillo
TT atornilladora ≤ 250 r.p.m. (par > 70 N/m)	5	
TT atornilladora ≤ 450 r.p.m., Tornillo $\geq M12$ (par entre 20 y 70 N/m)	3	
TT atornilladora ≤ 750 r.p.m., M6 a M10 y tornillo chapa $> 4,2$ mm diam, (par entre 5 y 20 N/m)	2	
TT atornilladora > 750 r.p.m., Tornillo chapa $\leq 4,2$ diámetro (par < 5 N/m)	1	
Fijar 1 remache	5	Apro remache, montar en remachadora, apuntar remachadora en pieza, apretar gatillo, Tiempo tecnológico medio de remachado, soltar gatillo
Fijar 1 remache con remachadora automática	4	Apuntar remachadora en pieza, apretar gatillo, Tiempo tecnológico medio de remachado, soltar gatillo
Fijar 1 remache atornillado (riveklé) incluye Tiempo de atornillado desatornillado	7	Apro remache, montar en remachadora, apuntar remachadora en pieza, apretar gatillo, Tiempo tecnológico medio de remachado, soltar gatillo

MONTAR IFF / ADHESIVO		
Montar pequeño IFF/adhesivo $L \leq 10$ cm	7	Tomar IFF, Tomar y retirar la protección+tirar, Montar IFF
Montar IFF/adhesivo intermedio $10 \text{ cm} \leq L < 50 \text{ cm}$	9	Tomar IFF, Tomar y retirar la protección+tirar, Montar IFF
Montar Gran IFF/adhesivo $50 \text{ cm} \leq L < 100 \text{ cm}$	11	Tomar IFF, Tomar y retirar la protección+tirar, Montar IFF

APLICACIÓN MÁSTICO/COLA		
Punto relleno (no incluye posicionar & evacuar calibres)	3	Posicionar pistola, apretar gatillo mantenido, TT punto relleno, soltar gatillo y despejar
Aplicación cordón (Longitud en cm) (no incluye Montar & Evac. Calibres)	0,1/cm	Posicionar pistola, apretar gatillo mantenido, aplicar cordón según longitud, despejar pistola
Limpieza de desbordamiento de mástico cada 50 cm	4,0	

Control		
Control visual o manual (por característica)	1	Concentración de la mirada o coger pieza para ver si se mueve
Marcado unitario, (incluye quitar y poner el tapón del marcador)	3	Tomar tapón quitar, posicionar marcador y hacer una raya, poner el tapón
Marcado adicional	1	Posicionar marcador y hacer una raya

Tiempos Tecnológicos (Tiempos medios Robot)	
Tomar pieza Robot (incluido puesta en marcha.)	12
Dejar pieza Robot	12
Cambio garras Robot o utillaje (dejar y coger)	24
Cierre o apertura de cortina	7
Rotación platina/mesa giratoria	8
Tomar referencia (1 secuencia)	3
Soldadura Punto Robot (valor 1 punto SR)	5
Soldadura pasador Robot (valor 1 pasador)	6,0
SEFG Robot (valor por cm)	2,5
Encolado pulverizado Robot (valor por cm)	0,07
Encolado extruido Robot (valor por cm)	0,10
Grabado Vin Robot incluido Control Cámara	50

Anexo 2. Implantaciones

En el siguiente anexo se encuentran todas las implantaciones del capítulo 4.5, para cada uno de las configuraciones de las islas según cadencia.

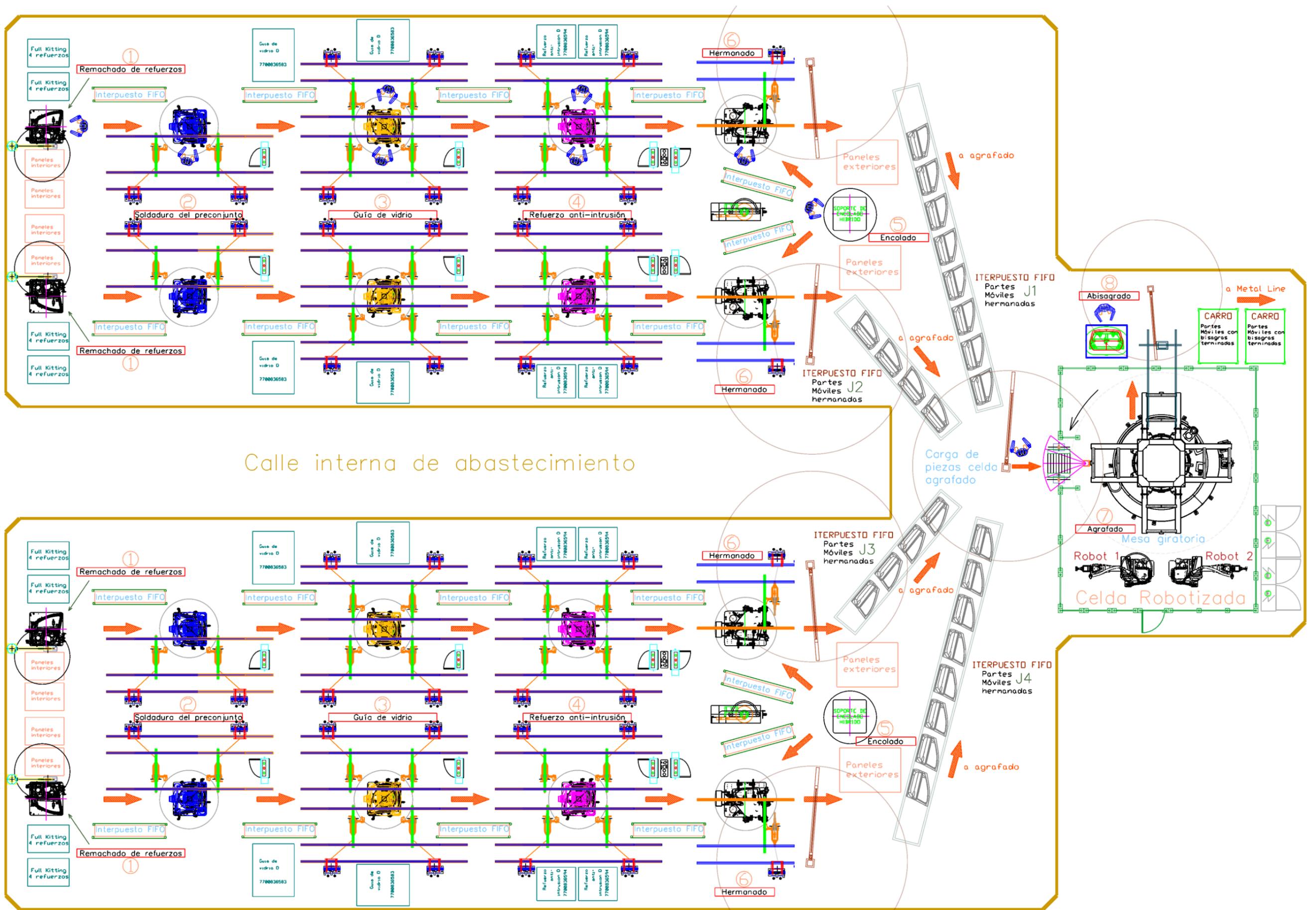
El formato A3 ha sido necesario para poder obtener una resolución visible de las figuras.

J1

J2

J3

J4



Calle interna de abastecimiento

Figura 6.1 – Implantación isla independiente 40 v/h

J1

J4

J3

J2

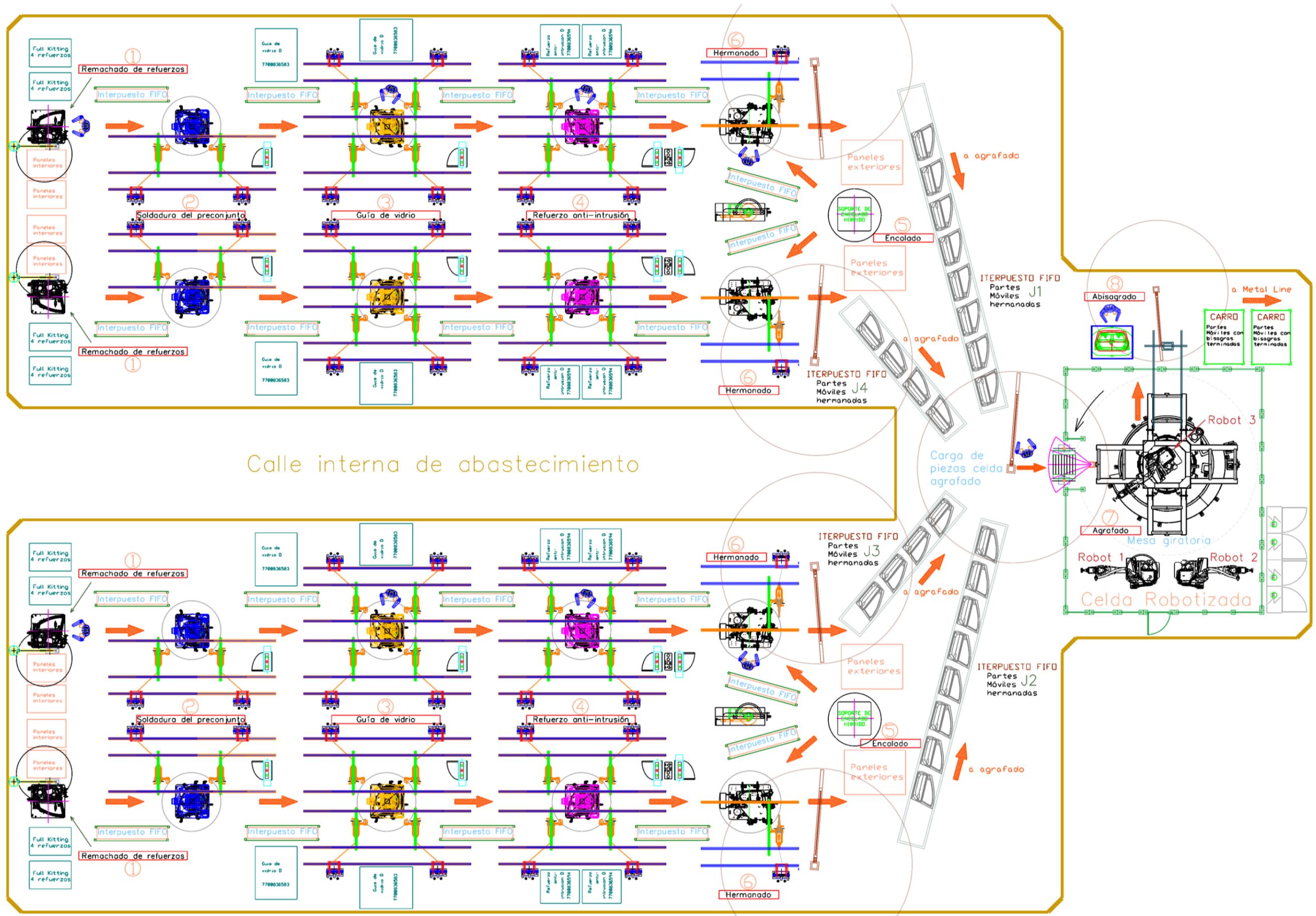
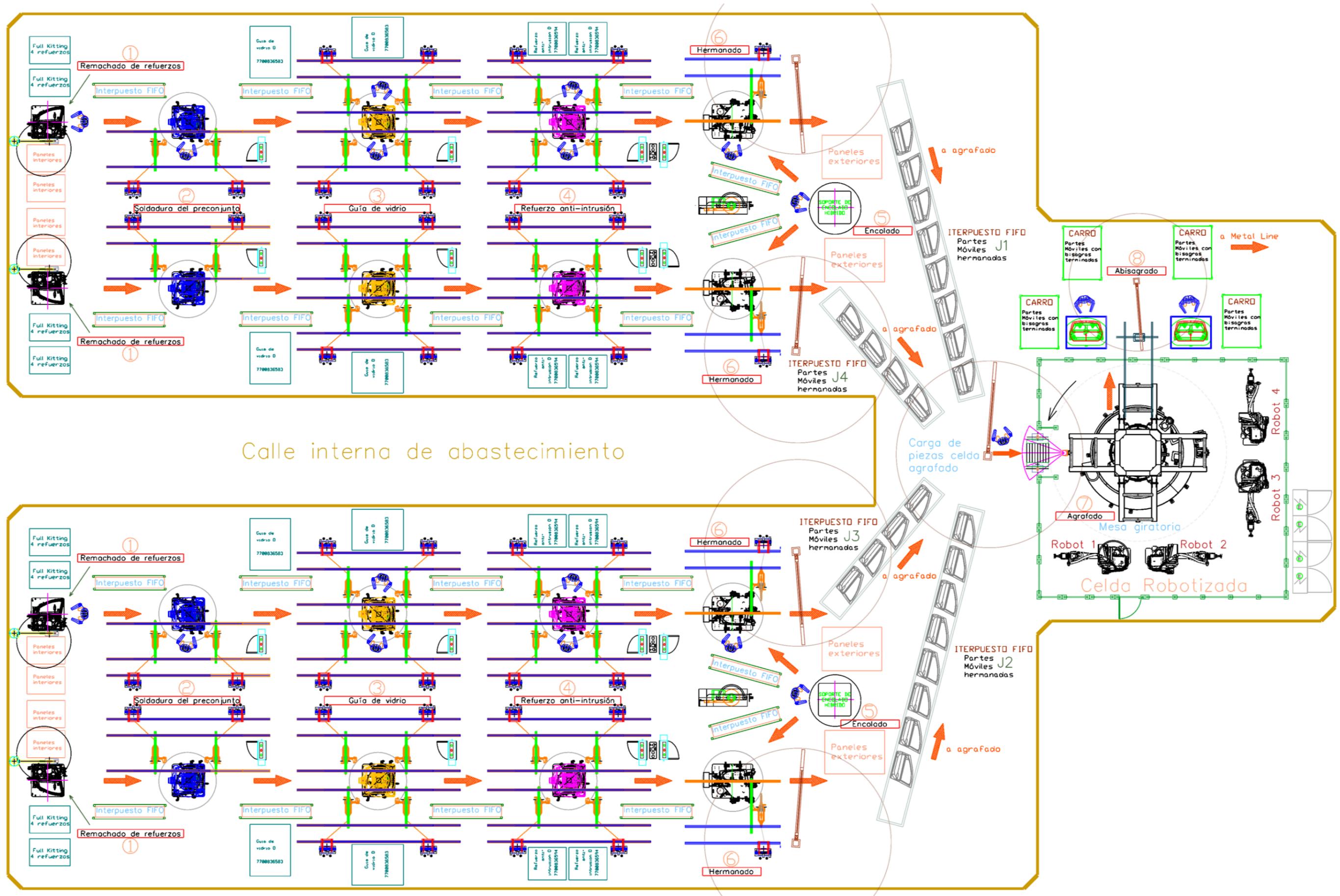


Figura 6.2 – Implantación isla independiente 60 v/h

J1

J4



J3

J2

Figura 6.3 – Implantación isla independiente 80 v/h

J1

J2

J3

J4

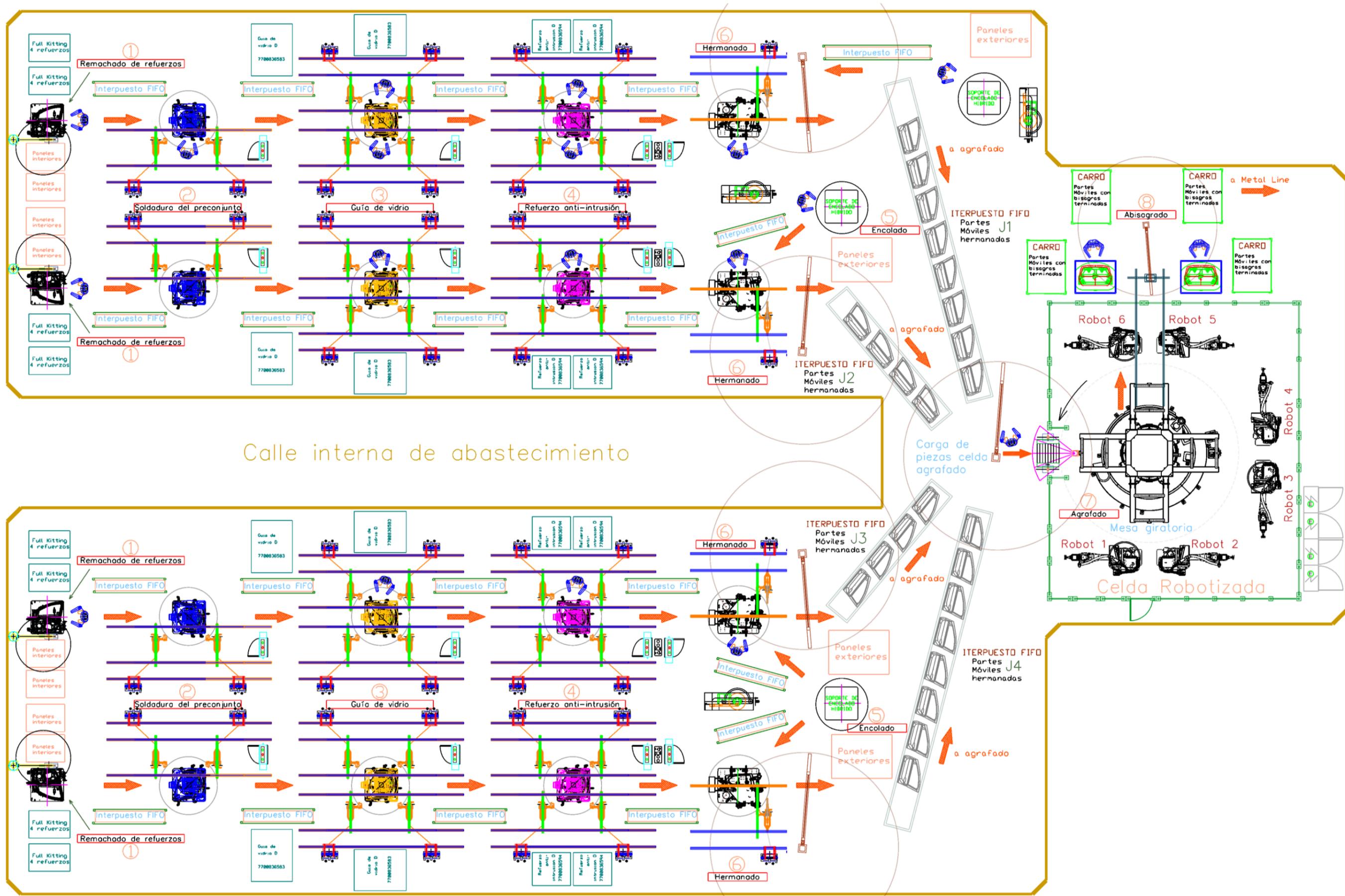


Figura 6.4 – Implantación isla independiente 100 v/h

J1
J2
J3
J4

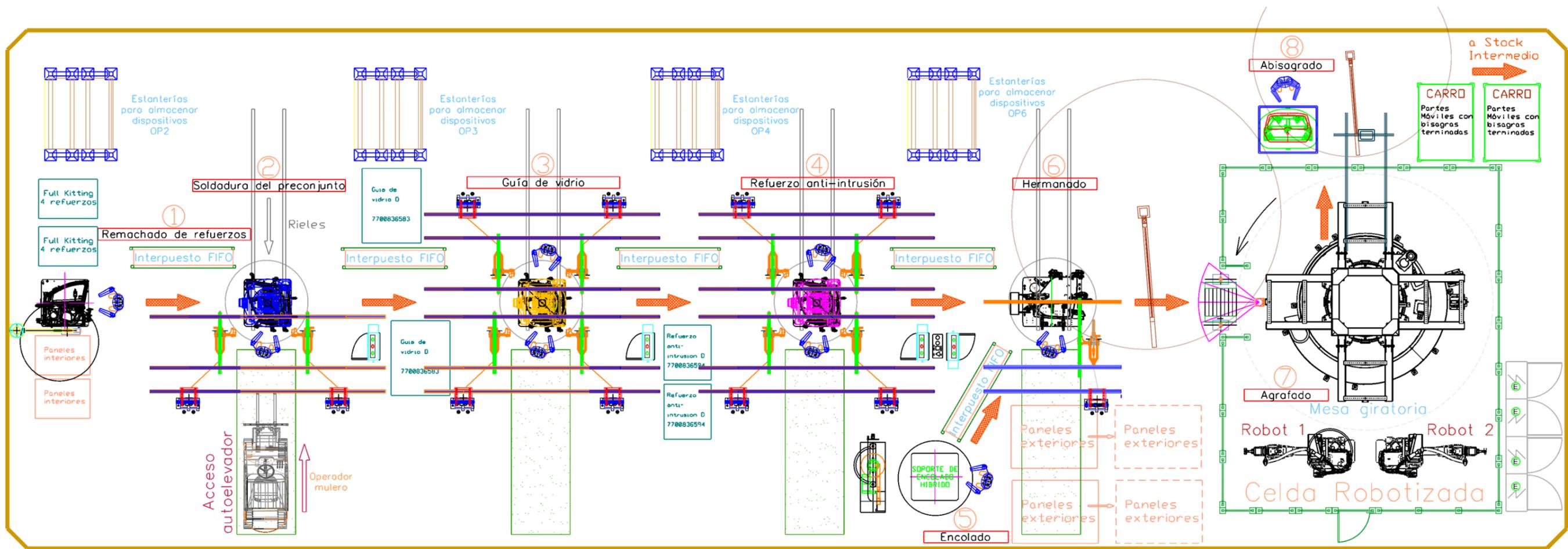


Figura 6.5 – Implantación isla flexible 40 v/h

J1
J4

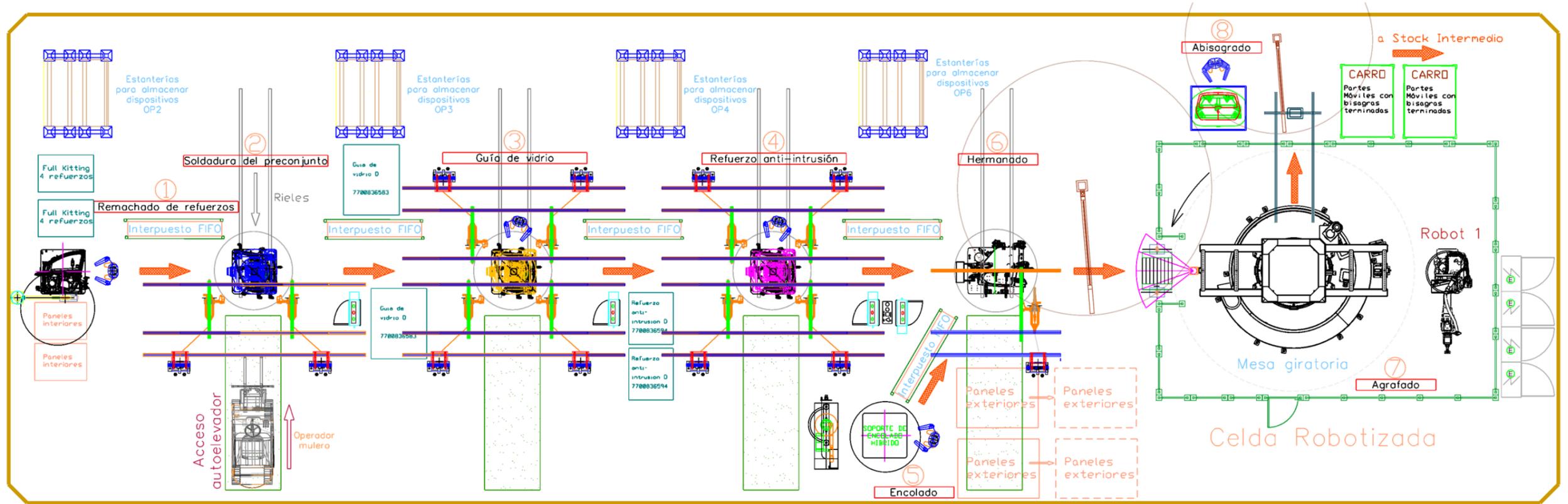
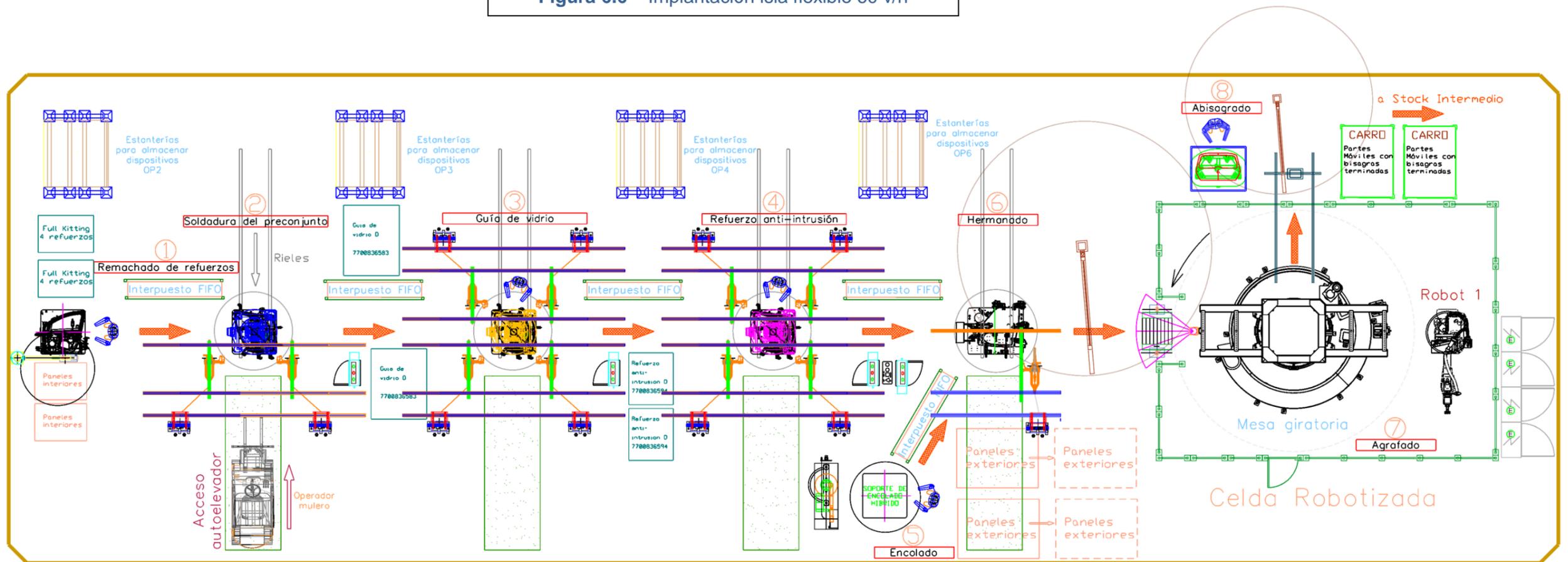


Figura 6.6 – Implantación isla flexible 60 v/h

J2
J3



J1
J4

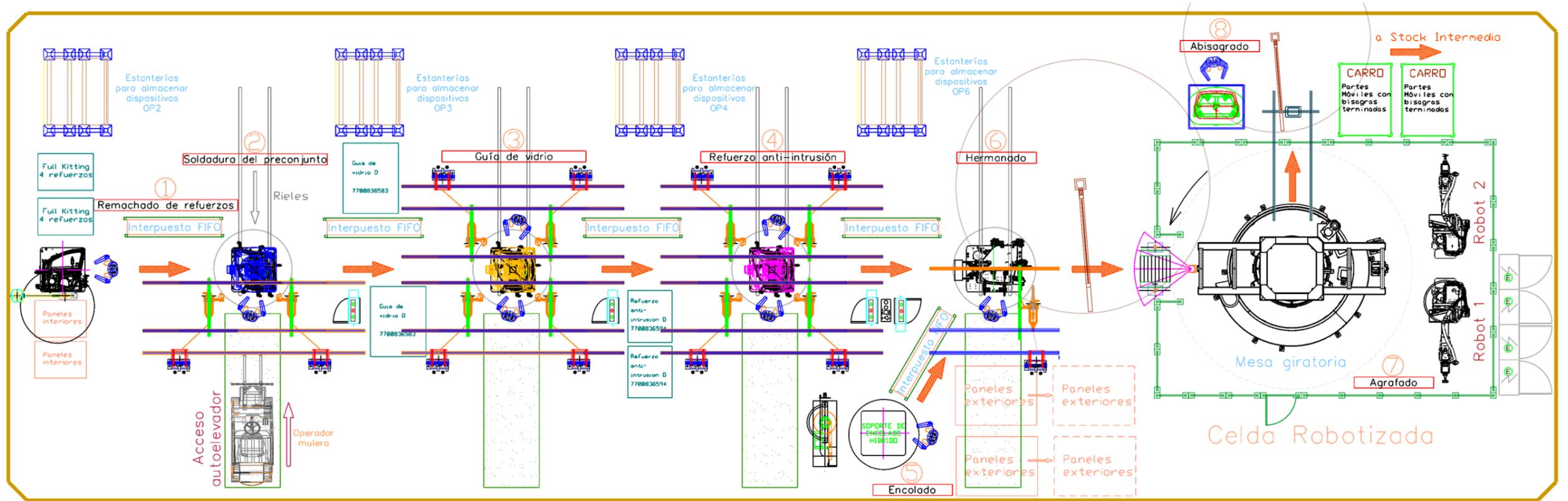
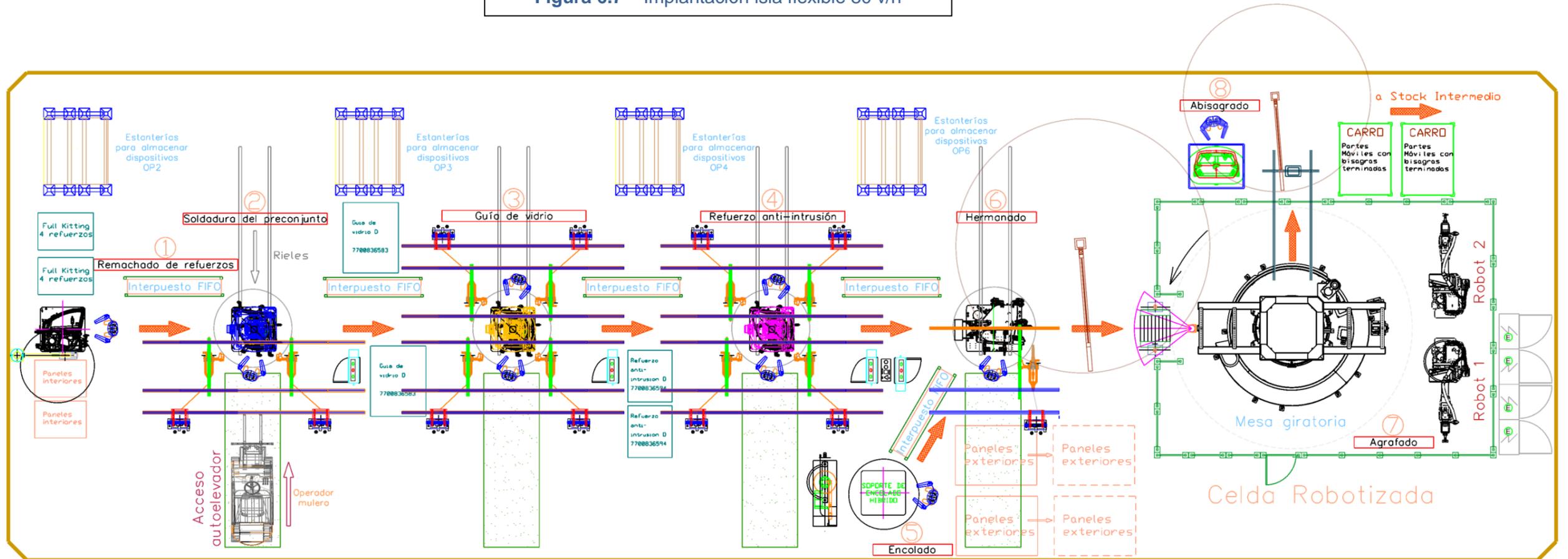
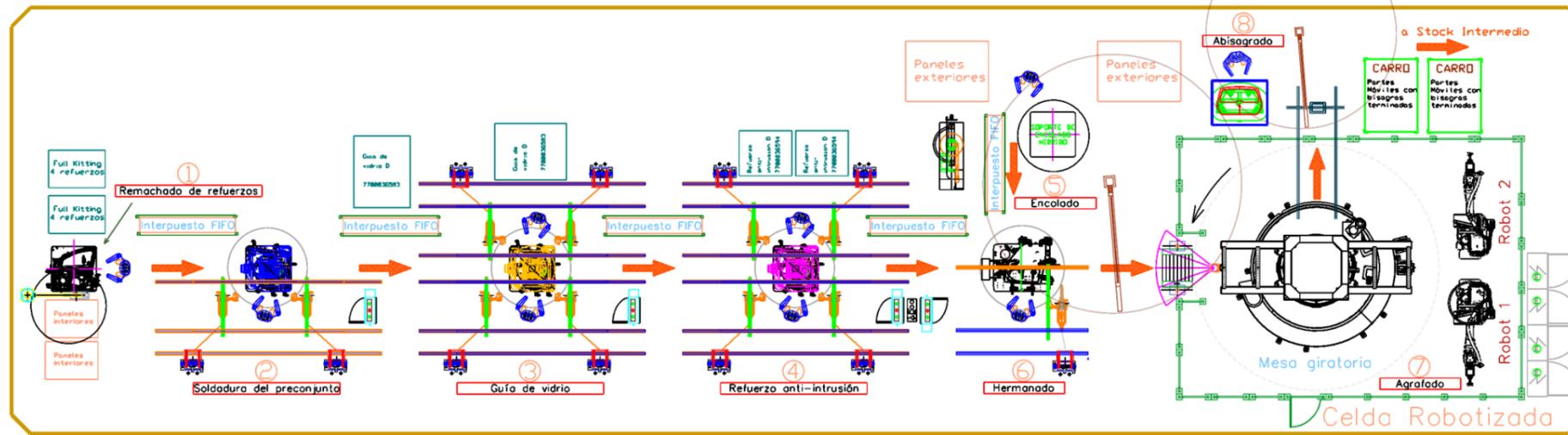


Figura 6.7 – Implantación isla flexible 80 v/h

J2
J3



J1



J2

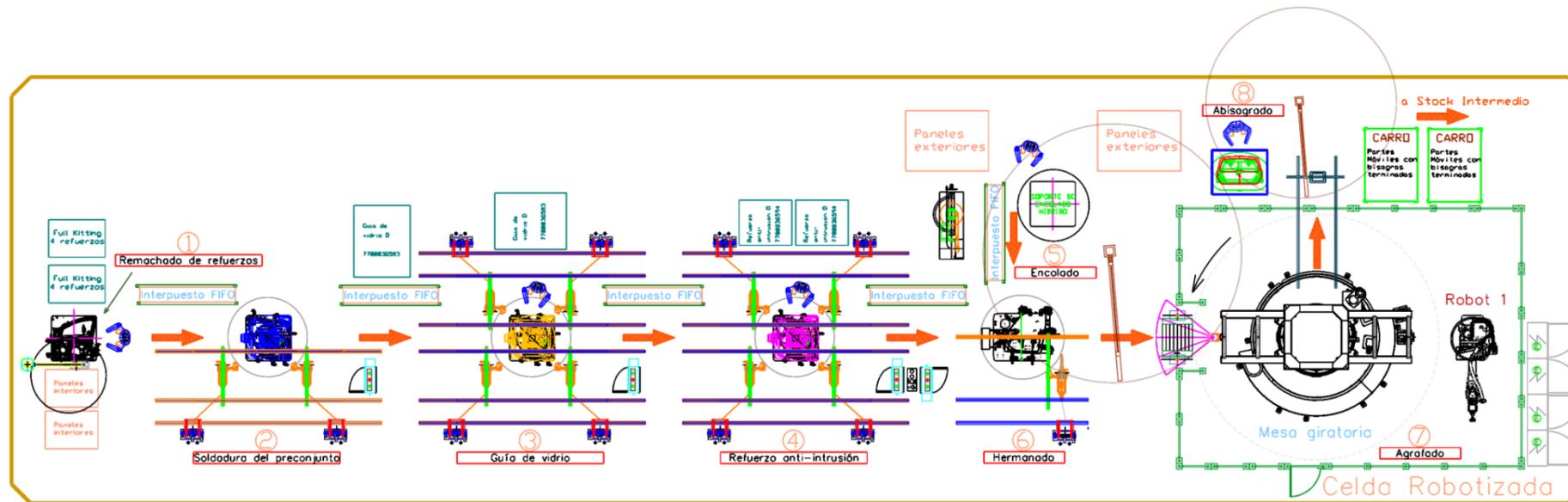
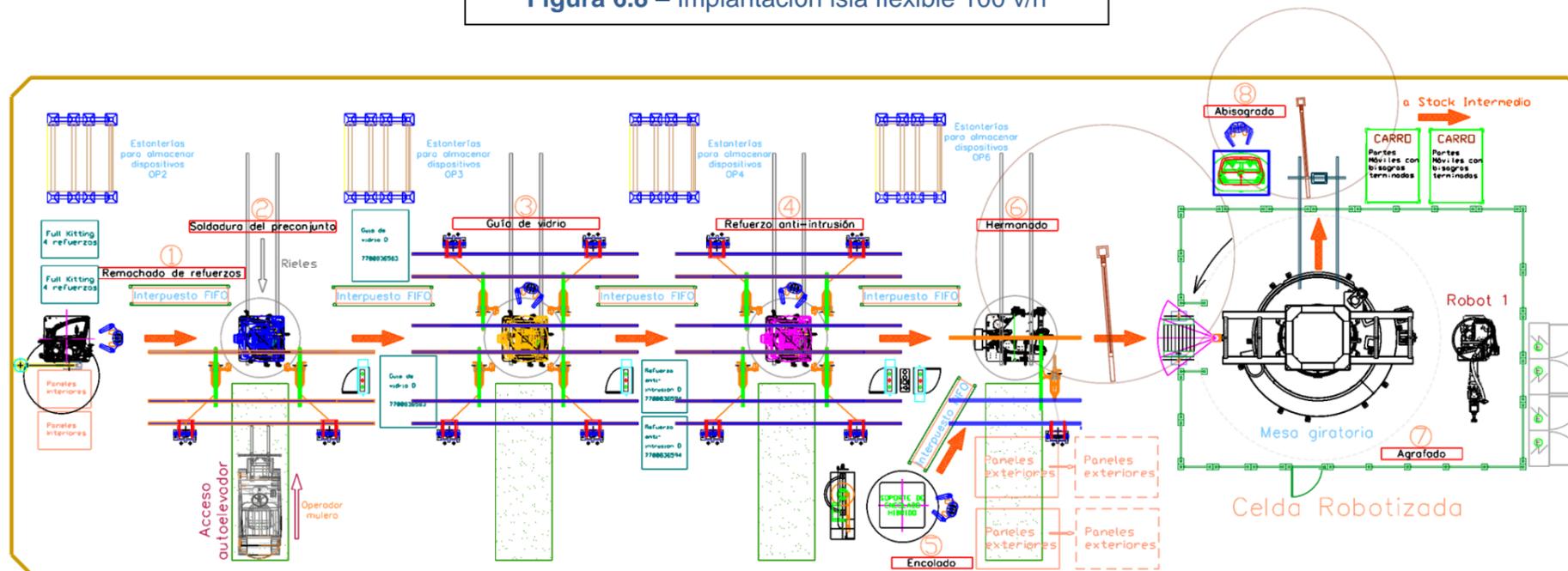


Figura 6.8 – Implantación isla flexible 100 v/h

J3

J4



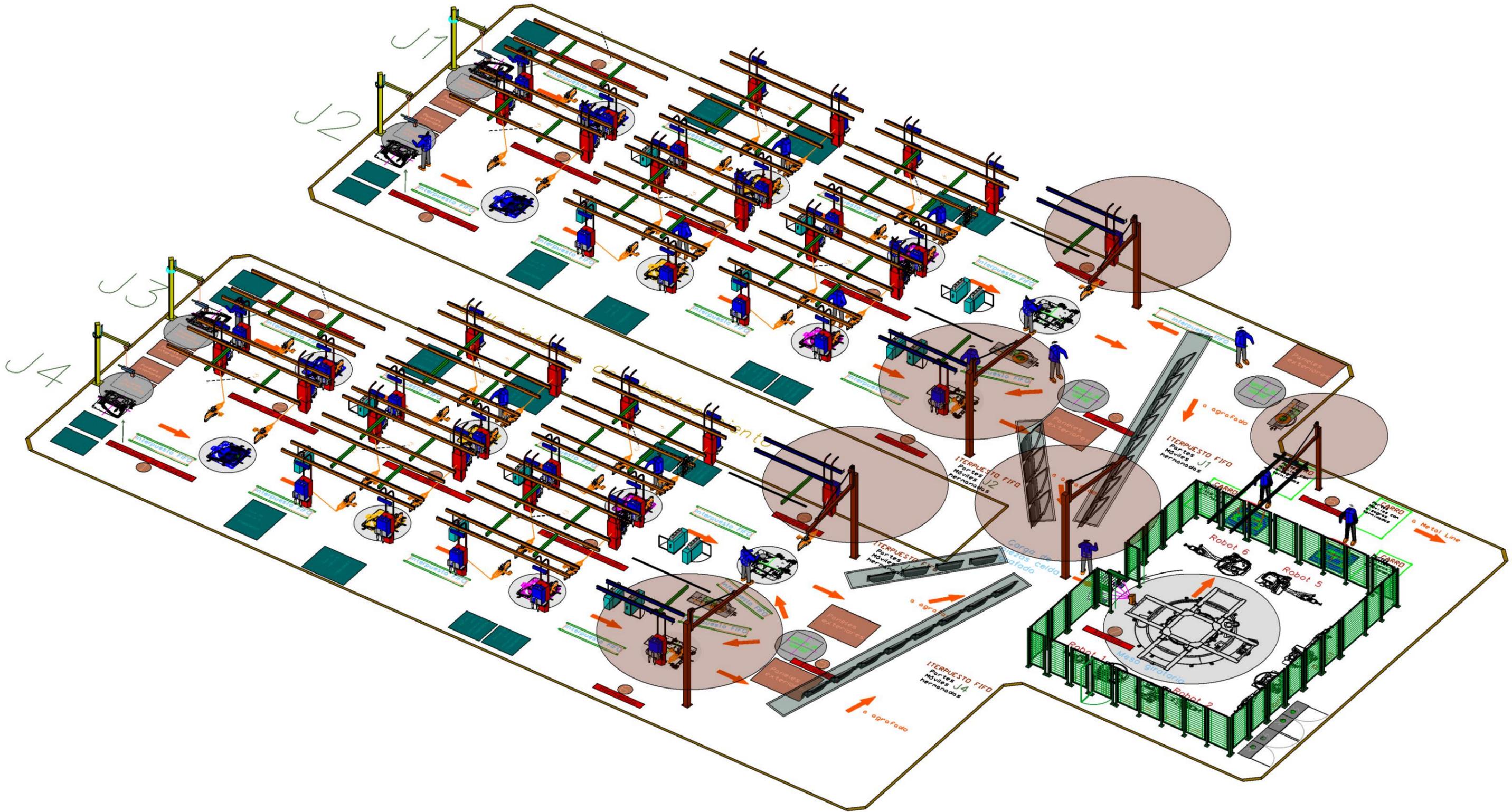


Figura 6.9 – 3D Implantación isla independiente

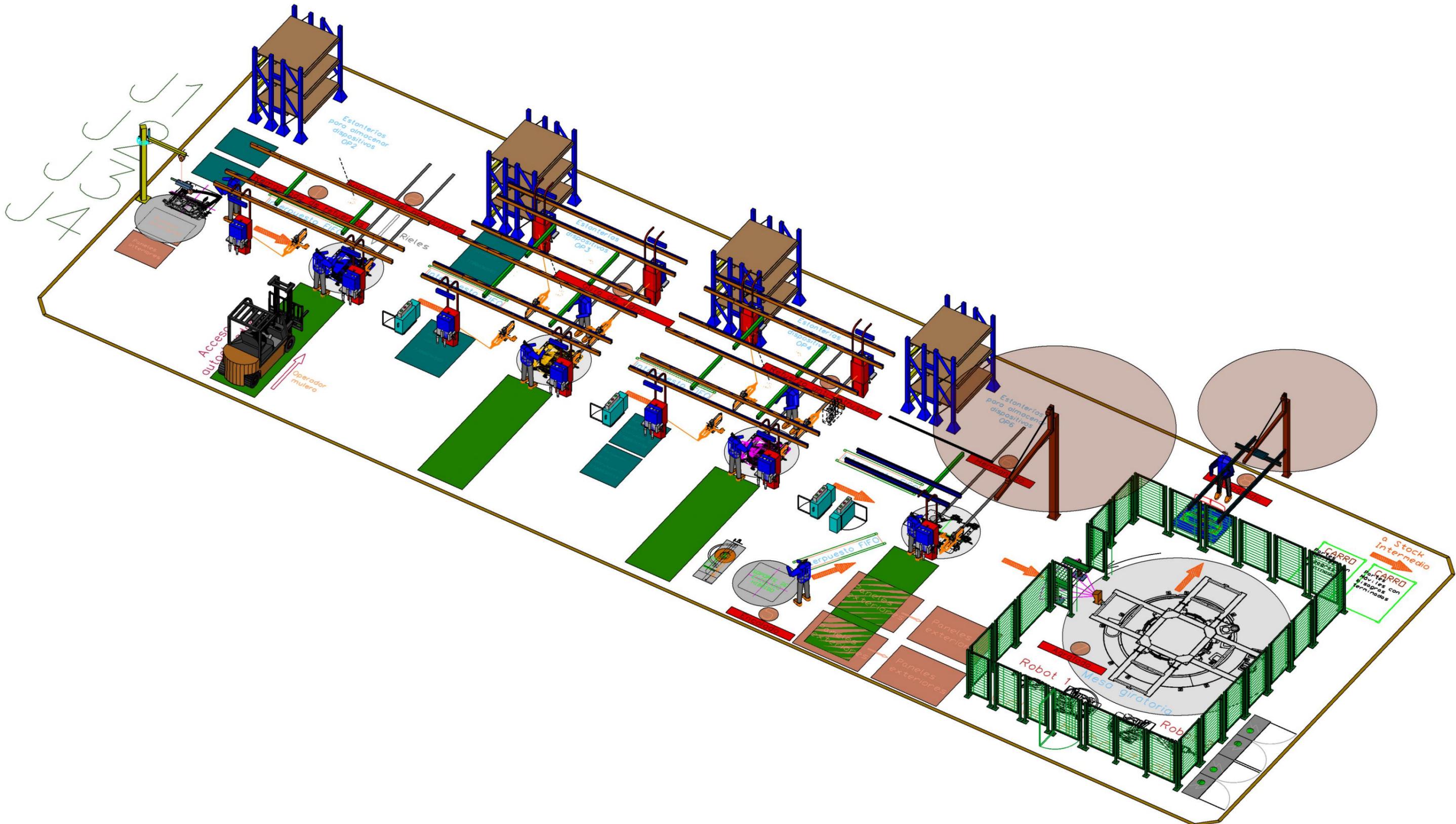


Figura 6.10 – 3D Implantación isla flexible

Anexo 3. Flujo de fondos

A continuación se detallan todos los Flujo de Fondos individuales para cada alternativa de producción según tipo y cadencia:

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000
G=Total gastos		350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000
Inversión							
Línea de Producción	2 836 200						
Obras Físicas	1 560 000						
I=Total inversiones	4 396 200	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 134 480
Obras Físicas							936 000
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 070 480
FFN	- 4 396 200	- 350 000	- 350 000	- 350 000	- 350 000	- 350 000	1 720 480
VAN parcial	- 4 396 200	- 312 500	- 279 018	- 249 123	- 222 431	- 198 599	871 649

VAN - 4 786 223

TAR - r 12%

Tabla 25 – Flujo de fondo Isla independiente 40 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000
G=Total gastos		350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000
Inversión							
Línea de Producción	2 891 200						
Obras Físicas	1 560 000						
I=Total inversiones	4 451 200	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 156 480
Obras Físicas							936 000
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 092 480
FFN	- 4 451 200	- 350 000	- 350 000	- 350 000	- 350 000	- 350 000	1 742 480
VAN parcial	- 4 451 200	- 312 500	- 279 018	- 249 123	- 222 431	- 198 599	882 795

VAN - 4 830 077

TAR - r 12%

Tabla 26 – Flujo de fondo Isla independiente 60 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		665 000	665 000	665 000	665 000	665 000	665 000
G=Total gastos		665 000	665 000	665 000	665 000	665 000	665 000
Inversión							
Línea de Producción	3 014 200						
Obras Físicas	1 620 000						
I=Total inversiones	4 634 200	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 205 680
Obras Físicas							972 000
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 177 680
FFN	- 4 634 200	- 665 000	- 665 000	- 665 000	- 665 000	- 665 000	1 512 680
VAN parcial	- 4 634 200	- 593 750	- 530 134	- 473 334	- 422 620	- 377 339	766 371

VAN	- 6 265 005
------------	-------------

TAR - r	12%
----------------	-----

Tabla 27 – Flujo de fondo Isla independiente 80 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		665 000	665 000	665 000	665 000	665 000	665 000
G=Total gastos		665 000	665 000	665 000	665 000	665 000	665 000
Inversión							
Línea de Producción	3 132 200						
Obras Físicas	1 680 000						
I=Total inversiones	4 812 200	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 252 880
Obras Físicas							1 008 000
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 260 880
FFN	- 4 812 200	- 665 000	- 665 000	- 665 000	- 665 000	- 665 000	1 595 880
VAN parcial	- 4 812 200	- 593 750	- 530 134	- 473 334	- 422 620	- 377 339	808 522

VAN	- 6 400 854
------------	-------------

TAR - r	12%
----------------	-----

Tabla 28 – Flujo de fondo Isla independiente 100 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		315 000	315 000	315 000	315 000	315 000	315 000
Gastos Extras		48 888	48 888	48 888	48 888	48 888	48 888
Costo Financiero		14 718	14 718	14 718	14 718	14 718	14 718
G=Total gastos		378 606					
Inversión							
Línea de Producción	2 389 000						
Inversión Extra	64 800						
Obras Físicas	680 000						
I=Total inversiones	3 133 800	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							981 520
Obras Físicas							408 000
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							1 389 520
FFN	- 3 133 800	- 378 606	- 378 606	- 378 606	- 378 606	- 378 606	1 010 914
VAN parcial	- 3 133 800	- 338 041	- 301 822	- 269 484	- 240 611	- 214 831	512 161

VAN - 3 986 428

TAR - r 12%

Tabla 29 – Flujo de fondo Isla flexible 40 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		350 000	350 000	350 000	350 000	350 000	350 000
Gastos Extras		55 832	55 832	55 832	55 832	55 832	55 832
Costo Financiero		18 777	18 777	18 777	18 777	18 777	18 777
G=Total gastos		424 609					
Inversión							
Línea de Producción	2 953 000						
Inversión Extra	87 200						
Obras Físicas	1 425 500						
I=Total inversiones	4 465 700	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 216 080
Obras Físicas							855 300
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 071 380
FFN	- 4 465 700	- 424 609	- 424 609	- 424 609	- 424 609	- 424 609	1 646 771
VAN parcial	- 4 465 700	- 379 115	- 338 495	- 302 228	- 269 846	- 240 934	834 306

VAN - 5 162 014

TAR - r 12%

Tabla 30 – Flujo de fondo Isla flexible 60 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		630 000	630 000	630 000	630 000	630 000	630 000
Gastos Extras		87 776	87 776	87 776	87 776	87 776	87 776
Costo Financiero		25 836	25 836	25 836	25 836	25 836	25 836
G=Total gastos		743 612					
Inversión							
Línea de Producción	3 063 000						
Inversión Extra	109 600						
Obras Físicas	1 425 500						
I=Total inversiones	4 598 100	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 269 040
Obras Físicas							855 300
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 124 340
FFN	- 4 598 100	- 743 612	1 380 728				
VAN parcial	- 4 598 100	- 663 939	- 592 803	- 529 288	- 472 579	- 421 945	699 520

VAN - 6 579 133

TAR - r 12%

Tabla 31 – Flujo de fondo Isla flexible 80 v/h.

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	0	1	2	3	4	5	6
Gastos							
Costos Fijos		665 000	665 000	665 000	665 000	665 000	665 000
Gastos Extras		94 720	94 720	94 720	94 720	94 720	94 720
Costo Financiero		29 894	29 894	29 894	29 894	29 894	29 894
G=Total gastos		789 614					
Inversión							
Línea de Producción	3 200 000						
Inversión Extra	132 000						
Obras Físicas	1 999 000						
I=Total inversiones	5 331 000	-	-	-	-	-	-
Valor residual							
Línea de Producción							1 332 800
Obras Físicas							1 199 400
Capital de trabajo							
V=Total valor residual							2 532 200
FFN	- 5 331 000	- 789 614	1 742 586				
VAN parcial	- 5 331 000	- 705 013	- 629 476	- 562 032	- 501 814	- 448 048	882 848

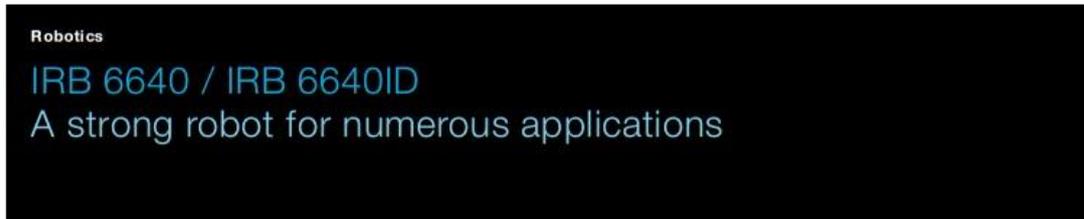
VAN - 7 294 535

TAR - r 12%

Tabla 32 – Flujo de fondo Isla flexible 100 v/h.

Anexo 4. Robot ABB

A continuación se dispone del documento con las especificaciones técnicas del robot ABB elegido para realizar el agrafado de las partes móviles:



The IRB 6640 / IRB 6640ID is available in different arm lengths and matching handling capacities. It is based on proven components from earlier generations, to ensure ease of maintenance and exchangeability as well as high up time.



Upper arm extenders and different wrist modules allow customization to each process. As the robot can bend fully backwards, the working range is greatly extended allowing it to fit well into dense production lines. Typical application areas are material handling, machine tending and spot welding.

The robot is also available with different options such as Foundry Plus 2, Foundry Prime 2 for different working environments.

IRB 6640ID with Internal Dressing (ID) has its process cables routed inside the upper arm. The cables follow the robot arm's every motion instead of swinging in irregular patterns.

Higher payload

The maximum payload is 235 kg, which makes it suitable for a variety of heavy material handling applications. The robot also follows the tradition of having outstanding inertia capabilities, which makes it possible to handle heavy and wide parts. ABB robots are also known for their collision resistance.

The IRB 6640ID's 200 kg payload capacity meets the requirements from the heaviest spot welding applications.

Easy maintenance

Simplified fork lift pockets and more space in the robot foot make the robot easier to maintain.

Increased path performance

The IRB 6640 is compatible with second generation TrueMove™ and QuickMove™. The software allows for more accurate motion in shorter programming times for improved processes. The software also monitors internal robot loads which reduces the risk of overload and increases the robot's life cycle.

Passive safety features

Passive safety features include load identification, movable mechanical stops, Electronic Positions Switches (EPS) and a stiff steel structure.

IRB 6640ID – Internal Dressing in the upper arm

The IRB 6640 with Lean ID has its process cabling for spot welding routed inside the upper arm. This provides more motion control as well as other benefits, like predictable dress pack lifetime, longer dress pack lifetime and less spare part cost; a more compact robot when dressed and also a reliable simulation of dress pack motion.

Main Applications

- Material handling
- Machine tending
- Spot welding

Specification

Robot versions	Reach (m)	Handling capacity (kg)	Center of gravity (mm)	Wrist torque (Nm)
6640-180*	2.55	280	300	961
6640-235*	2.55	235	300	1324
6640-205*	2.75	205	300	1264
6640-485*	2.80	185	300	1206
6640-130	3.20	130	300	1037
6640ID-200	2.55	200	300	1262
6640ID-170	2.75	170	300	1190

* Available as Lean ID option.
 Extra loads can be mounted on all variants
 50 kg on upper arm (except ID) and 250 kg on frame of axis 1.

Number of axes	6
Protection	Complete robot IP 67
Mounting	Floor mounted
IRC5 Controller variants	Single cabinet, Dual cabinet

Performance

Positions repeatability (mm)	0.07
Path repeatability (mm)	0.7

Axis movements	Working range		Axis max speed
	6640	6640ID	
Axis 1 Rotation	+170° to -170°	+170° to -170°	100 to -110°/s
Axis 2 Arm	+85° to -65°	+85° to -65°	90°/s
Axis 3 Arm	+70° to -180°	+70° to -180°	90°/s
Axis 4 Wrist	+300° to -300°	+300° to -300°	170 to -190°/s
Axis 5 Bend	+120° to -120°	+100° to -100°	120 to -140°/s
Axis 6 Turn	+360° to -360°	+300° to -300°	190 to -235°/s

For IRB 6640ID axis 4 and 6 together max +300° to -300°.
 A supervision function prevents overheating in applications with intensive and frequent movements.

Environment

Ambient temperature for mechanical unit	
During operation	+5°C (41°F) -+50°C (122°F)*
During transportation and storage for short periods (max 24h)	-25°C (13°F) -+55°C (131°F)* Up to +70°C (158°F)
Relative humidity	Max 95 %
Noise level	Max 71 dB (A)
Safety	Double circuits with supervision, emergency stops and safety functions, 3-position enable device
Emission	EMC/EMI-shielded
Options	Foundry Plus 2 Foundry Prime 2

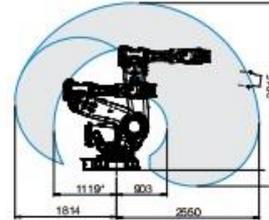
*In a high-speed press tending application, max ambient temperature is 40°C

Electrical Connections

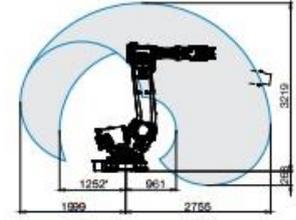
Supply voltage (Hz)	2000-600 V, 50/60 Hz
Power consumption (kW)	ISO-Cube 2.7 kW

Physical

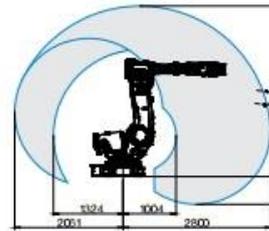
Dimensions robot base (mm)	1107 x 720
Weight (kg)	1310 - 1405

Working range


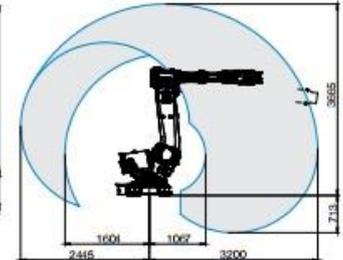
* 1549 for 6640D
 IRB 6640-180/2.55 (IPA certified)
 IRB 6640-235/2.55
 IRB 6640ID-200/2.55



* 1682 for 6640D
 IRB 6640-205/2.75
 IRB 6640ID-170/2.75



IRB 6640-185/2.8



IRB 6640-130/3.2

For more information please contact:

ABB AB Robotics
 Hydrovägen 10
 SE-721 36 Västerås, Sweden
 Phone: +46 21 325000

www.abb.com/robotics

Note

We reserve the right to make technical changes or modify the contents of this document without prior notice. With regard to purchase orders, the agreed particulars shall prevail. ABB does not accept any responsibility whatsoever for potential errors or possible lack of information in this document.

We reserve all rights in this document and in the subject matter and illustrations contained therein. Any reproduction, disclosure to third parties or utilization of its contents - in whole or in parts - is forbidden without prior written consent of ABB.

Copyright© 2016 ABB All rights reserved

