



Universidad de Oviedo

Memoria del Trabajo Fin de Máster realizado por

Tomas Costamagna (UC [REDACTED])

para la obtención del título de

Máster en Ingeniería de Automatización e Informática Industrial

“Diseño e implementación de células automatizadas de recepción de mercaderías con origen o destino a almacén automático”

Fecha de presentación: 15/05/2020

Estudiante	Tomas Costamagna, pasaporte
Título del Trabajo	Diseño e implementación de células automatizadas de recepción de mercaderías con origen o destino a almacén automático
Empresa donde se ha desarrollado el trabajo	NormaGrup
Tutor Académico	José Ángel Sirgo Blanco
Tutor de Empresa	Tomás Castro Riera

Índice

1	Introducción	4
1.1	Empresa Normagrup	4
2	Objetivos	5
2.1	Plan de tareas.....	6
3	Tecnologías a utilizar	8
3.1	Almacén Automático Miniload, Mecalux	8
3.1.1	Interfaz de comunicaciones SAGE – EasyWMS (XML).....	10
3.1.2	Interfaz de comunicaciones AGV/SAGE– EasyWMS (MQTT).....	11
3.2	Flota de Robots AIVs OMRON y Búferes de Entrega/Recogida de Contenedores, Inser Robótica ..	12
3.2.1	Comunicación mensajes MQTT.....	14
4	Desarrollo del trabajo	16
4.1	Interfaz Suministro: Suministro de material de producción a puestos de trabajo	18
4.1.1	Programación de aplicación de interfaz de usuario para el suministro de material.....	18
4.1.2	Operativa aplicación de interfaz de usuario para el suministro de material	20
4.1.3	Comunicación con el almacén automático, mediante ficheros XML.....	23
4.1.4	Actualización del estado de la petición mediante la captura de los mensajes MQTT	26
4.2	Interfaz de Planificación de Ordenes de Trabajo	26
4.3	Interfaz de Visión General de los búferes de Entrega/Recepción de Materiales.....	29
4.3.1	Flujo Node-Red	29
4.3.2	Interfaz de estado de ocupación de cada uno de los Búferes.....	31
4.4	Interfaz Ingreso: Ingreso de nuevo material hacia el almacén	32
4.4.1	Layout de células de trabajo.....	32
4.4.2	Programación de autómatas Beckhoff.....	34
4.4.3	Programación de software interfaz de usuario para el ingreso de nuevo material	38
4.4.4	Actualización del estado de la solicitud mediante la captura de los mensajes MQTT.....	43
4.4.5	Comunicación entre PLC Beckhoff y la Interfaz Usuario Ingreso diseñada.....	43
4.5	Flujos Node-Red: Trazabilidad, Tratamientos Ficheros y Devolución de Material.....	45
4.5.1	Flujo Trazabilidad Contenedores	45
4.5.2	Flujo Tratamiento Ficheros	45
4.5.3	Flujo Devoluciones de Contenedores.....	47

5	Análisis de los resultados	49
6	Conclusiones	54
6.1	Trabajos a futuro	54
6.2	Conclusión general y agradecimientos.....	55
7	Bibliografía.....	55

Glosario

AIV Acrónimo de *Autonomous Intelligent Vehicle*, vehículos autónomos inteligentes

BROKER MQTT Servidor de traducción y almacenamiento de mensajes *MQTT*

ERP Acrónimo de *Enterprise Resource Planning*, sistema de planificación de recursos empresariales

Miniload Tipo de almacén automático según la clasificación de la empresa *Mecalux*

MQTT Acrónimo de *Message Queue Telemetry Transport*, protocolo de red abierto, ligero, de publicación y suscripción estándar OASIS e ISO

Node-Red Herramienta de desarrollo basada en flujo para programación visual desarrollada originalmente por IBM para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte de Internet de las cosas.

OT Acrónimo de Orden de Trabajo empresa *Normagrup*

SAGE Software de gestión empresarial

SGA Sistema de gestión de almacenes

SQL Acrónimo de *Structured Query Language*, lenguaje de consulta estructurada

SQL SERVER Sistema de gestión de base de datos relacional, desarrollado por la empresa *Microsoft*.

XML Acrónimo de la expresión *eXtensible Markup Language*, lenguaje de etiquetado extensible.

1 Introducción

La tecnología robótica aplicada a los procesos productivos se encuentra en un estado de desarrollo avanzado, con algunas realizaciones ya plenamente comerciales y otras validadas a nivel de prototipo. La inminente necesidad de aumentar la producción sin aumentar los recursos y minimizando tareas repetitivas o de esfuerzo manual por parte del personal, demanda tal vez de manera inexorable dar el paso de la mecanización a la automatización de procesos tales como traslado (*picking*) y almacenamiento de mercaderías, en donde la automatización y la robótica tienen un protagonismo destacado. Por otro lado, en las industrias actuales donde cada día aumenta el grado de automatización en los procesos de fabricación, se hace necesario mejorar los sistemas de transporte para canalizar los flujos de elementos sobre los que se van realizando las transformaciones del proceso productivo, así como también su almacenamiento (1).

En este contexto se encuentra la empresa *Normagrup*, donde la reciente construcción de un nuevo almacén automático *Miniload*¹ (desarrollado por *Mecalux*, Sección 3.1) y la incorporación de una flota de robots AIVs² (*Inser Robótica*, Sección 3.2) se encuadran dentro de su objetivo a mediano plazo de automatizar los procesos de recepción, almacenaje y traslado de material a distintos puestos de trabajo dentro de la misma para de esta manera gestionar el espacio físico, sincronizar el inventario en tiempo real y optimizar el tiempo del personal de almacén.

1.1 Empresa Normagrup

Con sede en Asturias, *NormaGrup* se dedica al diseño, fabricación y comercialización de luminarias led, equipos de Iluminación de Emergencia, Sistemas técnicos Hospitalarios y Sistemas de Detección de incendio y gases. Bajo su estructura se agrupan cinco divisiones: *NormaLux*, iluminación de emergencia, *NormaDet*, detección de incendios y gases, *NormaLit*, iluminación técnica y arquitectónica, *NorClinic*, sistemas técnicos hospitalarios.

En su creación, la empresa se dedicaba exclusivamente a la fabricación, casi artesanal, de luminaria de emergencia. Pero con los años se transformó en la empresa líder en ventas en alumbrado de emergencia en España, ampliando la gama de productos ofrecidos con una política de innovación tecnológica. Dentro de las diferentes fases en el crecimiento de la empresa podemos destacar las seleccionadas en la Figura 1.



1987. Se crea la empresa González Soriano, S.A.



1991. Se inicia el primer proceso de automatización



1995. Se crea el departamento propio de I+D+i



2000. Se obtiene la certificación de AENOR según ISO 9002



2006. Se superan las 1.500.000 unidades vendidas



2012. El proceso de fabricación se realiza únicamente LED

Figura 1. Evolución temporal de Normagrup

¹ El almacén automático instalado es del tipo *Miniload*, según la clasificación del propio *Mecalux*. A partir de este momento nos referiremos con este término al almacén.

² Vehículos inteligentes totalmente autónomos por sus siglas en inglés.

En cuanto a instalaciones, el grupo empresarial *NormaGrup* cuenta con 4 naves situadas en el Parque Tecnológico de Asturias, Llanera (Figura 2). La organización interna de *Normagrup* se articula en torno a cuatro departamentos que suponen los pilares fundamentales de su desarrollo y que trabajan interrelacionados con el objetivo de alcanzar los mejores resultados:

- Desarrollo propio de la planta productiva.
- Departamento I+D+i.
- Departamento de diseño.
- Departamento mecanizado.

En marco de la asignatura de Trabajo de Fin de Máster (al igual que Práctica de Empresa I y II), las tareas de diseño, programación y documentación se llevaron a cabo dentro del Sector de Ingeniería de la Nave 1. Por otro lado, las implementaciones y puestas en marcha se realizaron dentro de la propia planta productiva de la empresa.



Figura 2. Diferentes Naves de la Empresa

2 Objetivos

Dentro del proyecto global de la empresa, el objetivo principal del presente *TFM* radica en lograr la correcta integración del funcionamiento del almacén automático y la flota de *AIV* recientemente incorporados a la forma actual de producción. Para lograr esto, una de las primeras tareas a realizar será diseñar células automáticas de trabajo con distintas interfaces de usuario que serán utilizadas por los operarios tanto para pedir o ingresar material al almacén, como también aplicaciones de escritorio para que los encargados puedan planificar la producción o comprobar el estado de los procesos. Por otro lado, también se debe poder llevar a cabo la trazabilidad³ del material en movimiento realizando las anotaciones de altas y consumos para la gestión empresarial, notificando al software de gestión (*SAGE*) para su actualización. En la Figura 3 se detalla el esquema general del flujo de información entre las distintas partes que forman parte del proyecto.

³ Se entiende como trazabilidad a “un conjunto de procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto, o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros, en un momento dado y a través de unas herramientas determinadas”

1. **Estudio y relevamiento del funcionamiento general del almacén automático Miniload (Mecalux):**

- Estructuras mecánicas, zonas de trabajo y sistemas de seguridad.
- Sistemas de control, cuadros eléctricos y aplicaciones software.
- Comunicación del *Miniload* con el *SAGE* de *Normagrup* (carpetas compartidas, tipos de mensajes *XML*).
- Comunicación del *Miniload* con los *AIV* de *Inser Robótica* (protocolo *MQTT*, tópicos establecidos).

2. **Estudio y relevamiento del funcionamiento general la flota de AIVs (Inser Robótica)**

- Estructura mecánica y componentes electromecánicos.
- Sistemas de control y procedimiento localización por mapeo.
- Concepto de operaciones (*ConOps*) de los robots.
- Sistemas de seguridad y tratamientos de errores.
- Softwares para la gestión de robots o flotas de robots.
- Comunicación de los *AIV* de *Inser Robótica* con el *Miniload* (protocolo *MQTT*, tópicos establecidos).

3. **Diseño e implementación de interfaces de usuario**

Interfaz Suministro: Suministro de material de producción a puestos de trabajo

- Programación de aplicación de interfaz de usuario para el suministro de material.
- Comunicación con el almacén automático, mediante creación y lectura ficheros *XML*.
- Actualización del estado de la petición mediante la captura de los mensajes *MQTT*.

Interfaz de planificación de órdenes de trabajo a producir

- Programación de aplicación de interfaz de usuario para la planificación de la producción.

Interfaz de Visión General de los búferes de Entrega/Recepción de Materiales

- Implementación Flujo *Node-Red* para captura, almacenaje y reenvío de mensajes *MQTT*.
- Programación de aplicación de interfaz de estado de ocupación de cada uno de los Búferes.

Interfaz Ingreso: Ingreso de nuevo material hacia el almacén

- Diseño de *Layout* de células automático de trabajo.
- Programación de autómatas *Beckhoff* para la automatización de dichas células.
- Programación de aplicación de interfaz usuario para el ingreso de nuevo material.
- Comunicación con el almacén automático, mediante creación y lectura ficheros *XML*.
- Actualización del estado de la solicitud mediante la captura de los mensajes *MQTT*.
- Comunicación entre *PLC Beckhoff* y la Interfaz de Usuario diseñada mediante *ADS*.

4. **Trazabilidad, Tratamiento de Ficheros y Devolución de material al almacén**

- Implementación Flujo *Node-RED* Trazabilidad Contenedores, para registro de todos los movimientos de los contenedores.
- Implementación Flujo *Node-RED* Tratamiento Ficheros, para la correcta recepción, lectura y tratamiento de la información de todos los ficheros *XML* enviados por el almacén.
- Implementación Flujo *Node-RED* Devoluciones de Contenedores, para el proceso de devolución de contenedores desde los centros de trabajo hacia el almacén.

5. **Puesta en marcha y validación de los sistemas**

- Ensayos de puesta en marcha, evaluación errores y posibles cambios en el desarrollo de la solución final.
- Evaluación de funcionamiento en producción normal de la empresa, obteniendo conclusiones y posibles mejoras a futuro.

3 Tecnologías a utilizar

Como paso previo a la explicación del desarrollo del proyecto, es pertinente brindar los aspectos básicos de funcionamiento tanto del *Miniload* de *Mecalux* como la flota de *AIVs* de *Inser Robótica*.

3.1 Almacén Automático Miniload, Mecalux

Los transelevadores para cajas o *miniload* (Figura 5) son un sistema de almacenaje automático para cajas o bandejas que integra las estanterías, uno o varios transelevadores y un software de gestión de almacenes, optimizando la capacidad del almacén y los procesos de *picking* (2) (3) (4).

El *miniload* presenta diferentes configuraciones con el objetivo de mejorar la capacidad, rapidez y seguridad del proceso de almacenaje. Es posible elegir entre varios modelos de transelevador y múltiples posibilidades de distribución de la zona de *picking* y manipulación. Los almacenes automáticos con transelevadores agilizan las operaciones de ubicación y extracción de la carga transportando el producto directamente al operador.



Figura 5. Ilustración de almacén Miniload

Su principal utilidad se encuentra en empresas con procesos de *picking* intensivo. El *miniload* es un sistema “producto a hombre”, por lo que el operario no tiene que desplazarse, sino que es el robot el encargado de llevar hasta el puesto de *picking* el producto que debe ser utilizado para preparar el pedido. Los diferentes modelos de transelevadores pueden manipular desde 120 cajas por hora hasta 600 cajas por hora en ciclos combinados: en un mismo viaje, se introducen y se extraen de las estanterías el mismo número de cajas.

- Automatización de las operaciones de entrada y salida de productos.
- Eliminación de los errores derivados de la gestión manual del almacén e inventario permanente.
- Flujos continuos y operatividad los 365 días del año.
- Máxima ergonomía y seguridad para que los operarios puedan ejecutar las órdenes de trabajo con la mayor facilidad posible.
- Multiplica por 10 la capacidad de almacenaje de un almacén convencional.
- Los transelevadores operan en pasillos de solo 80 cm de ancho, longitud de hasta 40 m y altura de hasta 20 m.
- Reducción de costes laborales y de mantenimiento.
- El sistema puede operar a diferentes temperaturas (desde temperaturas bajo cero hasta 45 °C).

Aplicaciones:

Los *miniload* son especialmente eficaces para empresas con procesos de preparación de pedidos intensivos y, en general, son una opción idónea en los siguientes casos:

- Sector de la sanidad: empresas que almacenan mucho producto en poco espacio a temperatura controlada.
- Empresas que necesitan compactar ingentes volúmenes de documentación en un espacio limitado manteniendo el acceso a la misma.
- Empresas de recambios y de mantenimiento: fontanería, electricidad, distribución para mayoristas de bajo volumen.
- Empresas suministradoras a líneas de distribución que manejan componentes metálicos pequeños.
- Empresas distribuidoras que almacenan y luego distribuyen productos de alta rotación.
- Almacén búfer: el *miniload* se usa como reserva de almacenaje general o temporal, actuando como almacén regulador entre diferentes zonas de producción.
- Funcionamiento como sórter: cuando se necesita preparar un gran número de pedidos a la vez. Caso frecuente en el sector textil.
- Cámaras de congelación: el *miniload* también puede operar por debajo de los 0° C.
- Variedad de horquillas o sistemas de extracción que se adaptan a diversos tipos y medidas de unidades de carga: cajas de plástico, cajas de cartón o bandejas metálicas, de múltiples medidas.
- Dependiendo del número de ciclos por hora deseado, se puede instalar un sistema de medio, alto o muy alto rendimiento, así como variar las velocidades de elevación y traslación

Comunicación mensajes XML y MQTT:

Como se observa en la Figura 6, el *Miniload* actúa como coordinador o “triangulador” dentro de la estructura de comunicación. El mismo intercambia mensajes XML/MQTT con las aplicaciones desarrolladas en *Normagrup* y mensajes MQTT con el sistema de flotas de AIVs de *Inser Robotica*.

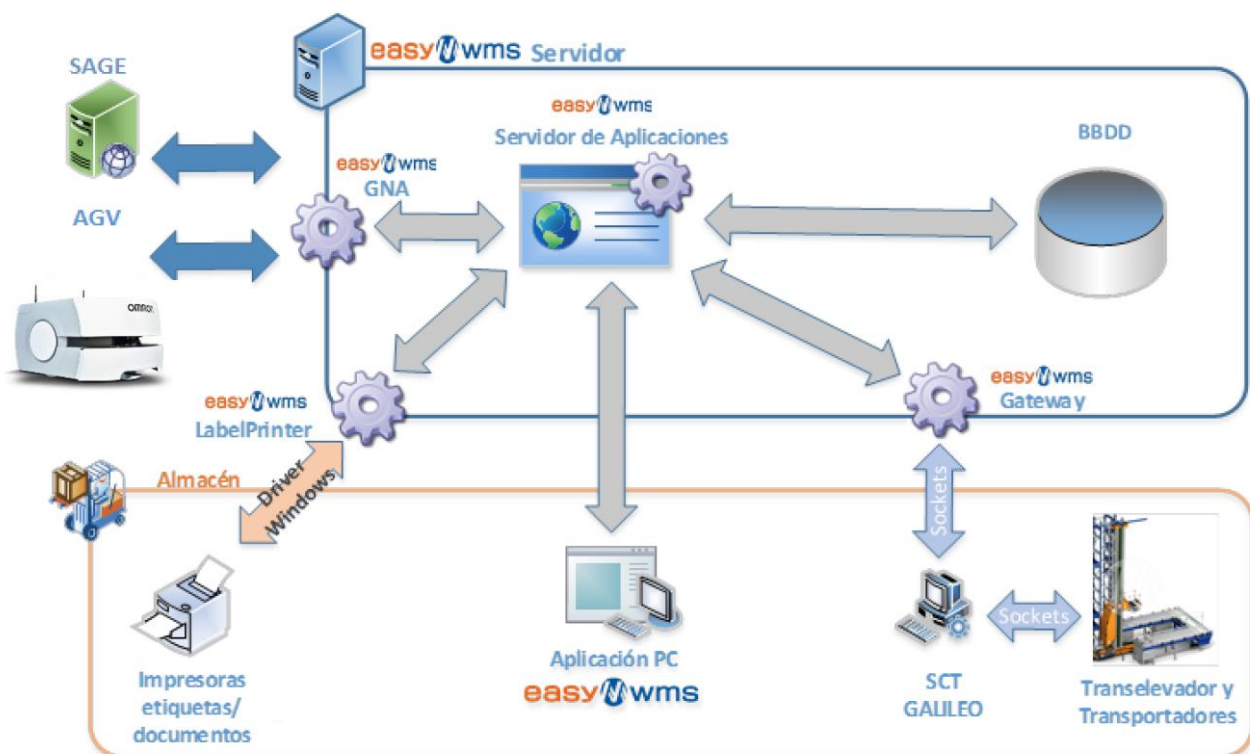


Figura 6. Comunicación EasyWMS

Según la anterior arquitectura software, EasyWMS® se comunica tanto con el sistema *ERP* de la empresa llamado *SAGE* como también con un sistema de *AGV* de la empresa *Inser Robótica*. Estas comunicaciones se encuentran definidas en detalle en el siguiente documento orgánico:

- Interfaz de comunicaciones *SAGE* – EasyWMS
- Interfaz de comunicaciones *AGV* – EasyWMS

3.1.1 Interfaz de comunicaciones *SAGE* – EasyWMS (XML)

La comunicación con el *ERP* se realiza intercambio de mensajes *XML* en carpetas compartidas entre *Mecalux-Normagrup* (Figura 7).

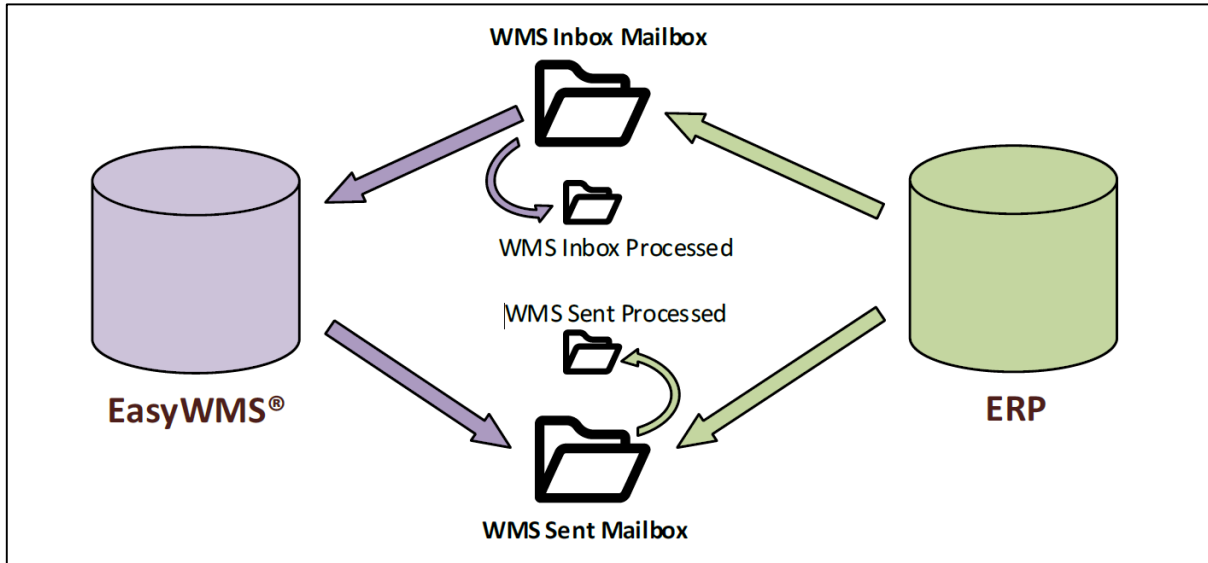
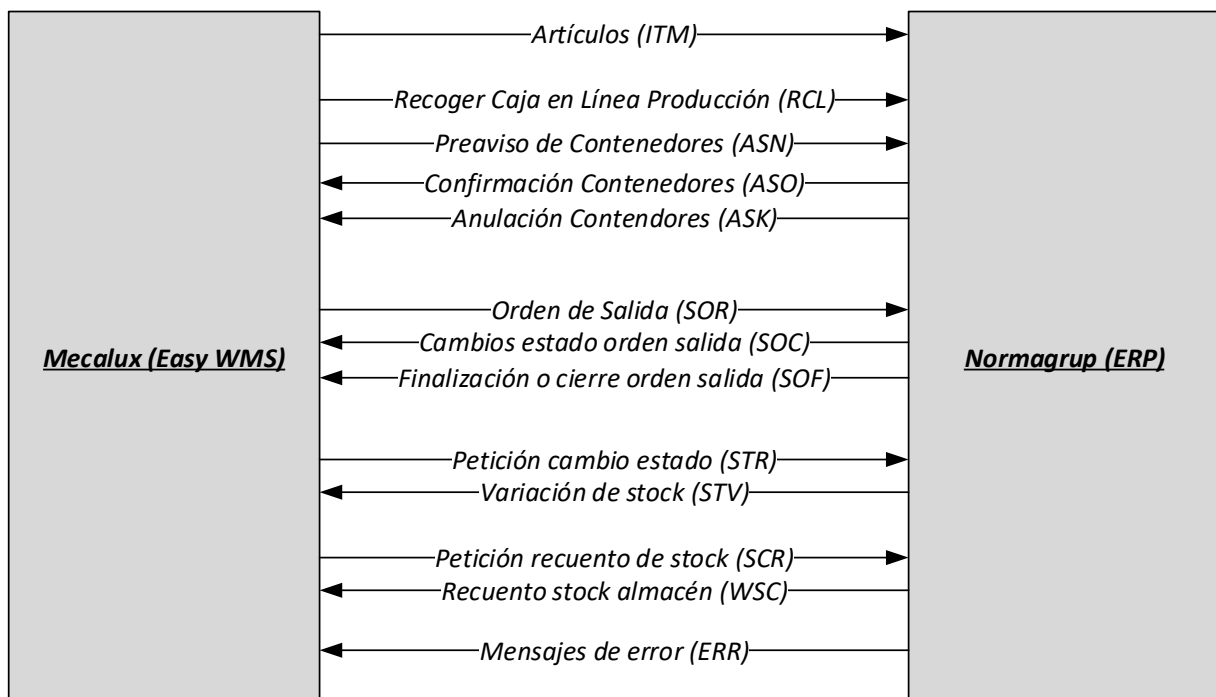


Figura 7. Interfaz comunicación XML

Tipos de mensajes:

En la Figura 8 se enumeran un listado de los tipos de mensajes existentes en el interfaz de comunicaciones, destacando el sentido de importación (de *ERP* a *Easy WMS*), o sentido de exportación (de *Easy WMS* a *ERP*).



MAESTROS
ITM – Artículos (Items)
ENTRADAS
ASN – Preaviso de contenedores (Advanced shipping notice)
ASO – Confirmación contenedores preavisados (Advanced shipping notice OK)
ASK – Anulación de contenedores preavisados (Advanced shipping notice KO)
RCL – Recoger cajas línea de suministros.
SALIDAS
SOR - Órdenes de salida (Shipping orders)
SOC - Cambio de estado de órdenes de salida (Shipping order status change)
SOF – Finalización o cierre de órdenes de salida (Shipping order close or finalization)
PETICIONES
STR - Petición de cambio de estado de stock (Stock status change request)
SCR - Petición de recuento de stock (Stock count request)
NOTIFICACIONES
STV - Variaciones de stock (Stock variation)
STC - Cambio de estado de stock (Stock status change)
WSC - Recuento de stock en almacén (Warehouse stock count)
BUF – Huecos libres en buffer de suministro.
ERRORES
ERR - Mensaje de error (Error)

Figura 8. Tipos de mensajes XML (Verde sentido importación y Rojo sentido exportación)

3.1.2 Interfaz de comunicaciones AGV/SAGE– EasyWMS (MQTT)

Entre Mecalux-ERP

Mecalux implementó un servidor *MQTT* que se quedará a la escucha de conexiones de clientes *MQTT*. Cada vez que su *SGA* lo requiera publicará un nuevo comando en el tag **orden**

3.1.2.1 Tópico Trazabilidad

- **Trazabilidad** ID_TAREA ID_CAJA ID_ORIGEN ID_DESTINO PRIORIDAD ID_SOR CANTIDAD ID_ARTICULO ATT_LOT ATT_FECHAPROD ATT_VERSION

Entre Mecalux-InserRobotica

Mensajes del aplicativo de *Mecalux* al de *Inser Robótica*

3.1.2.2 Tópico Tarea

- **NuevaTarea** ID_TAREA ID_CAJA ID_ORIGEN ID_DESTINO PRIORIDAD ID_ARTICULO ID_PEDIDO ATT_LOTE ATT_FECHAPROD ATT_VERSION
- **CancelarTarea** ID_TAREA
- **CancelarTarea** ID_TAREA ID_DESTINO
- **Error** MENSAJE_ERROR
- **CambiarPrioridad** ID_TAREA Prioridad

Los valores de prioridad van de 0 – 4 siendo 0 la más urgente y 4 la menos urgente El mensaje de error se emplea en el siguiente caso:

1. *Inser Robótica* envía a *Mecalux* el mensaje *FinTarea*.
2. En el SGA esa ubicación de descarga se encuentra ocupada.
3. El SGA no puede finalizar la tarea.
4. *Mecalux* enviará un mensaje *Error* notificando el motivo.

3.2 Flota de Robots AIVs OMRON y Búferes de Entrega/Recogida de Contenedores, Inser Robótica

Los AIVs OMRON son robots móviles, vehículos inteligentes totalmente autónomos que ayudan a aumentar el rendimiento, reducir el tiempo de espera de las máquinas, eliminar errores, mejorar la trazabilidad del material y permitir a los empleados centrarse en tareas que requieren complejas habilidades humanas. En la Figura 9 se observa el concepto de operaciones (CONOPS) de funcionamiento de dichos AIVs (5).

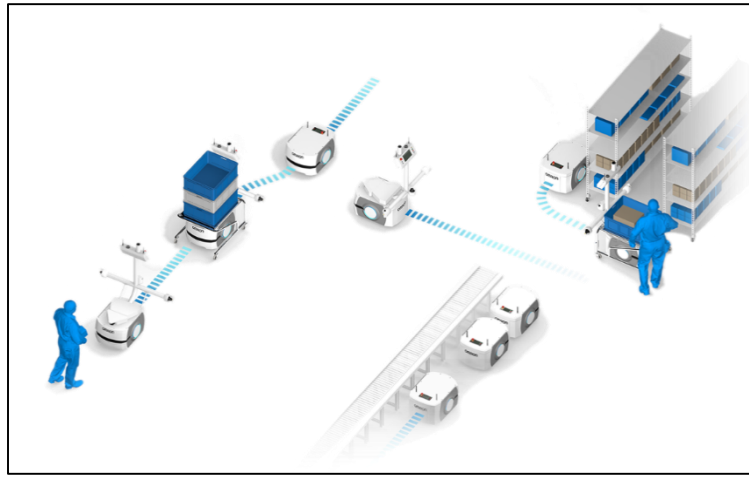


Figura 9. Conops AIVs

A diferencia de los AGV tradicionales, los robots móviles AIV se desplazan por sus instalaciones sin requerir costosas modificaciones ni restringir el acceso. Dentro de sus cualidades principales se encuentran:

- No es necesario programar rutas previamente.
- Total colaboración con personas y otros vehículos existentes.
- Mapeado automático del entorno gracias al ordenador integrado.
- Instalación rápida en sistema *Mobile Planner* (Figura 10).
- Gestión de flotas inteligente mediante su *Enterprise Manager* (Figura 11).

Mobile Planner: software para la gestión de robots o flotas de robots

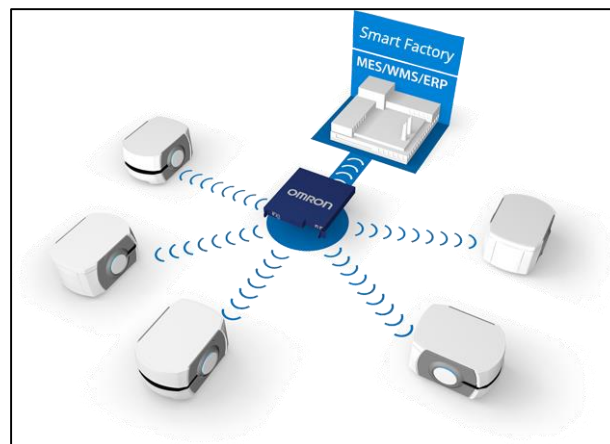


Figura 10. Mobile Planner

- Crea y distribuye mapas para aplicaciones de robots móviles.
- Proporciona las herramientas de configuración que permiten ajustar los parámetros, sensores, cámaras, etc.
- Asigna tareas y programa las rutas.

Gestión de flotas: Enterprise Manager



Figura 11. Enterprise Manager

Es el dispositivo que permite la coordinación de las flotas de robots móviles. Se encarga de:

- Asignación de solicitudes de transporte (tareas): distribuye los trabajos entre varios robots móviles seleccionando en cada caso el vehículo que mejor se adapta a la labor.
- Control de tráfico: optimiza el flujo del tráfico de vehículos
- Comunicaciones: un único punto de contacto para la integración con sistemas de fábrica (*MES, WMS, ERP, etc.*)
- Gestión de la configuración: gestiona los parámetros del sistema de toda la flota de vehículos.

Seguridad:

Dichos robots móviles cuentan con clasificación de seguridad. Utilizan láseres integrados y otros sensores para detectar los obstáculos de su ruta y, dependiendo de la velocidad de desplazamiento, activan una parada de emergencia para evitar que el vehículo colisione con los objetos en su camino (Figura 12).

Sensores: · Láser LIDAR · Láser Inferior · Láseres Laterales (Patentados) · Paragolpes · Sónar Trasero.

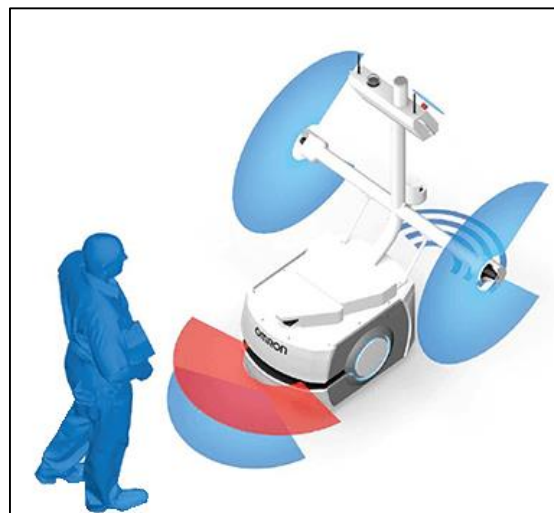


Figura 12. Sensores láseres AIV

Además de la gestión de los AIVs, *Inser Robótica* ha instalado diferentes búferes de entrega/recepción de contenedores ubicados próximos a las diferentes líneas de producción de la planta. Dichos *buffers* cuentan con una capacidad de entre 2 y 10 contenedores. En la Figura 13, se visualizan AIVs en proceso de descarga de contenedores en su correspondiente búfer.



Figura 13. Ilustración AIVs y Buffer de Entrega (Inser Robótica)

3.2.1 Comunicación mensajes MQTT

Dentro de la información brindado por los AIVs y Buffers (Figura 14) se encuentran los siguientes *tópicos* en el *Broker Mqtt*.

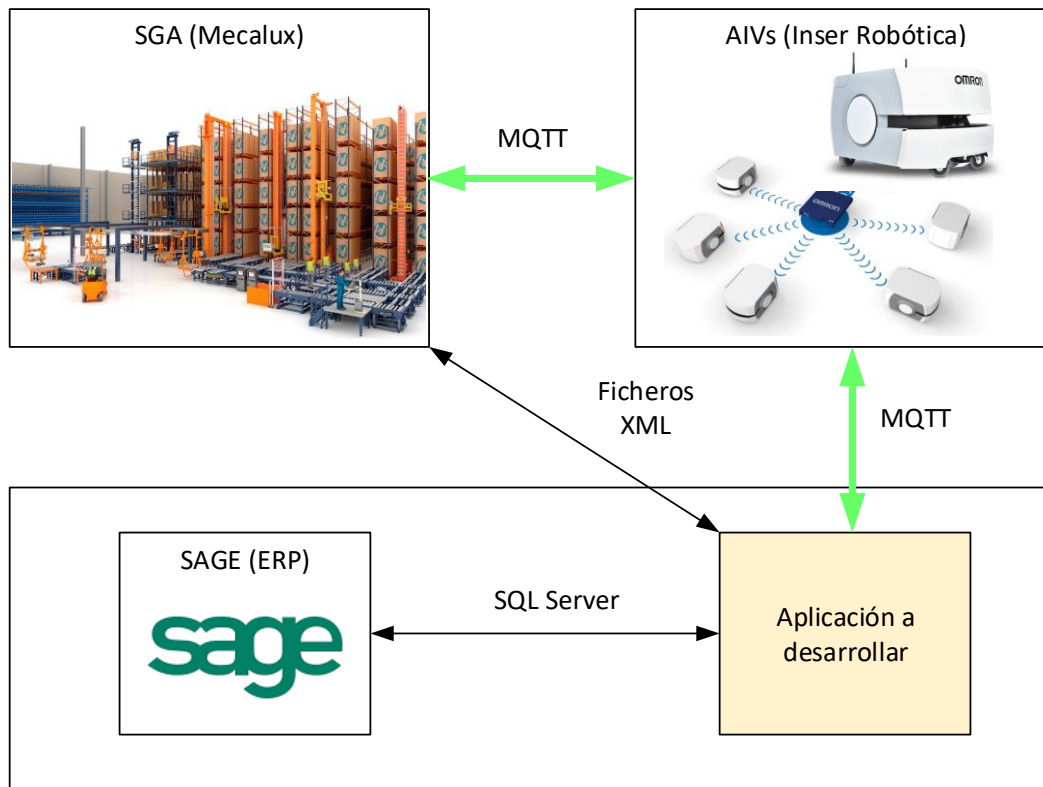


Figura 14. Mensajes MQTT Inser Robótica

Mensajes del aplicativo de Inser Robótica al de Mecalux

Inser Robótica implementará un cliente *MQTT* que se conectará al servicio de *Mecalux* publicará un *tag* para confirmar recepciones, estados, etc:

3.2.1.1 Tópico Estado

- **Recibida** ID_TAREA
- **Asignado** ID_TAREA ID_AIV
- **Ejecutando** ID_TAREA (cuando cargamos la caja)
- **FinTarea** ID_TAREA
- **ErrorCarga** ID_TAREA ID_AGV
- **ErrorDescarga** ID_TAREA ID_AGV
- **ErrorCargaDesconocida** ID_TAREA ID_AGV
- **ErrorSinCarga** ID_TAREA ID_AGV
- **ErrorTransito** ID_TAREA ID_AGV
- **CancelacionRecibida** ID_TAREA
- **CancelacionEjecutada** ID_TAREA

3.2.1.2 Tópico Huecos

En estos *tags* enviamos el número de huecos cada vez que compactamos. El evento de envío lo da el autómatas al compactar por *OPC-UA* e *Inser robótica* implementa la pasarela de *OPC-UA a MQTT*

- **huecos**: ID_BUFFER N°_HUECCOS

3.2.1.3 Tópico EstadoAGV

En estos *tags* se indicará el estado del AGV correspondiente: Ocupado, Libre, Trabajando, Cargando, Error, etc.

- **estadoAGV**: ID_AGV ESTADO

3.2.1.4 Errores

En el tópico estado:

- **ErrorCarga** ID_TAREA ID_AIV: Se ha comenzado la carga pero no se ha finalizado en un tiempo concreto. El robot espera hasta que se finalice.
- **ErrorDescarga** ID_TAREA ID_AIV: Se ha comenzado la descarga pero no se ha finalizado en un tiempo concreto. El robot espera hasta que se finalice.
- **ErrorCargaDeconocida** ID_TAREA ID_AIV: El AIV lleva una caja cuando no debería.
- **ErrorSinCarga** ID_TAREA ID_AIV: El AIV no lleva caja cuando debería llevar una.
- **ErrorSinPermiso** ID_TAREA ID_AIV: El AIV ha llegado al punto pero no tiene permiso de descarga. El robot espera a tener permiso. Se podría añadir opción de cancelar tarea.
- **ErrorSinPetición** ID_TAREA ID_AIV: El AIV ha llegado al punto pero no tiene petición de carga.

En el tópico estado AGV:

- **ID_AIV ErrorEngage**: El AIV ha tenido un problema al ir al punto por la banda.
- **ID_AIV ErrorDisengage**: El AIV ha tenido un problema al salir del punto.

4 Desarrollo del trabajo

Recordando que el objetivo global de la empresa es automatizar los procesos de recepción, almacenaje y traslado de mercaderías a distintos puestos de trabajo. A grandes rasgos, podemos dividir el trabajo a desarrollar en dos procesos principales: *proceso de ingreso* y *proceso de suministro de nuevo material*. El primer proceso consta en la recepción de nueva mercadería (proveniente de proveedores o de producción propia de la empresa) para su posterior almacenamiento en el *Miniload* y el segundo, el suministro de material almacenado en el *Miniload* a los diferentes puestos de trabajo, necesarios para el funcionamiento de las diferentes líneas de producción.

En la Figura 15, se observa el diagrama de flujo global de interacción entre las diferentes partes que participan del proyecto global. En la misma se pueden diferenciar:

1. *Interfaces de Suministro: Líneas de producción BOSCH 01, BOSCH 02, BOSCH 03 y MESAS.*
2. *Interfaces de Planificación.*
3. *Interfaces de Ingreso.*
4. *Tablas de Base de Datos: SAGE, SGA Mecalux y Omrom AIV.*
5. *Carpetas Compartidas entre SGA/SAGE.*
6. *Servicios de Comunicaciones: Por ficheros, MQTT, etc.*
7. *Broker MQTT.*
8. *Lectores códigos de contenedores en Buffers: Lectores Buffer 1, Buffer 2, Buffer 3 y Buffer 4.*

Las distintas interfaces de usuario (*numeradas 1, 2 y 3*) son programadas con *Python* utilizando diferentes librerías (entre ellas *PyQt5*, *PyODBC* y *Paho-mqtt*). En este documento se brindara los aspectos generales de su funcionamiento (secciones 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4) pero el detalle tanto su funcionalidad como su programación son brindados en los documentos “*2.ManualUsuario_UI_TFM.pdf* y *3.ManualProgramador_UI_TFM.pdf*”. (6) (7) (8)

Los servicios de comunicaciones de lectura de ficheros *XML* y *MQTT* son implementados en flujos *Node-RED* instalados en un servidor, cuya función principal es llevar a cabo una correcta sincronización entre los distintos sistemas (los mismos serán estudiados en las secciones 4.5.1 y 4.5.2).

Cada uno de los búferes de contenedores instalados por *Inser Robótica* que tenga la funcionalidad tanto de entrega de material proveniente del almacén (*puesto de entrega*), como así también la de devolución de material al almacén (*puesto de recibida*), cuentan con un lector de código de barras en su puesto de devolución para poder identificar y actualizar la trazabilidad del contenedor que esta por ser devuelto (*Lectores Buffer 1, Buffer 2, Buffer 3 y Buffer 4*). El proceso de devolución de material, también implementado en un flujo *Node-RED*, será detallado en la sección 4.5.3.

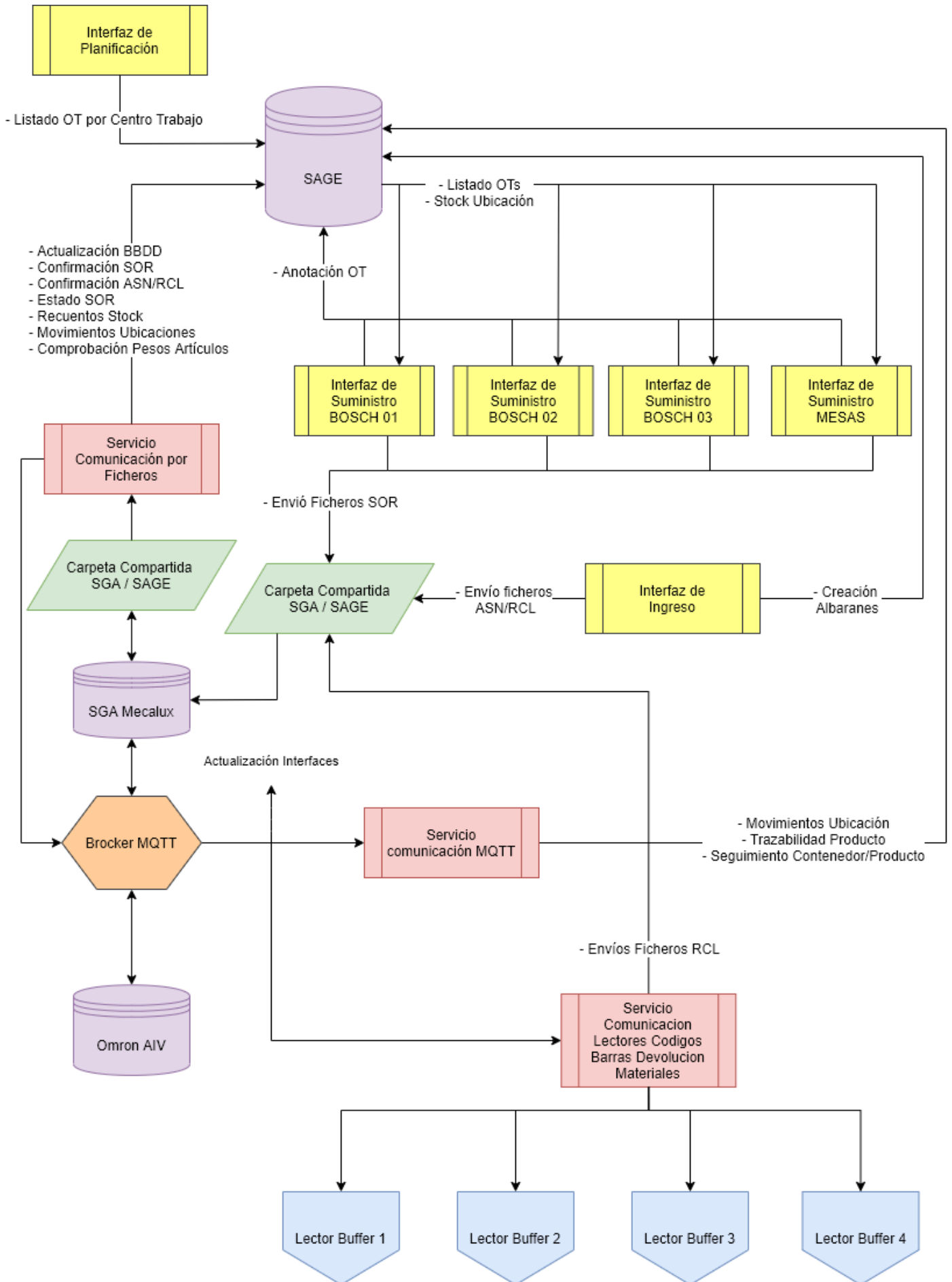


Figura 15. Esquema general de funcionamiento

4.1 Interfaz Suministro: Suministro de material de producción a puestos de trabajo

Se ha desarrollado un software de usuario para el pedido de componentes que se encuentran almacenados en el *Miniload* y son necesarios para elaborar una cantidad planificada de productos. Dentro de las tareas más relevantes llevadas a cabo para lograr que el correcto suministro de material con origen en el almacén automático y destino los puestos de trabajo correspondiente se encuentran:

- Programación de aplicación de interfaz de usuario que cumpla con los requisitos de funcionamiento necesarios para el suministro de material.
- Comunicación con el software de gestión empresarial (*SAGE*) mediante *SQL Server* para lectura/escritura de *BDDs* con la información necesaria (órdenes de trabajo a producir, componentes necesarios, stocks actuales, etc.) para realizar una nueva petición de material.
- Comunicación con el almacén automático, mediante ficheros *XML*, para la petición de salida de las cajas donde se encuentran los componentes necesarios para la producción establecida.
- Actualización del estado de la petición mediante la captura de los mensajes *MQTT* enviados por los *AIVs* de *Inser Robótica* durante el transporte de dichas cajas desde el almacén hacia el centro de trabajo correspondiente.

En la sección precedente se realizará un enfoque del funcionamiento global de la misma pero el detalle tanto su funcionalidad como su programación son brindados en sus respectivas secciones dentro de los documentos “*2.ManualUsuario_UI_TFM.pdf* y *3.ManualProgramador_UI_TFM.pdf*”.

4.1.1 Programación de aplicación de interfaz de usuario para el suministro de material

En la Figura 16 se observa el procedimiento que comienza con el diseño de la interfaz gráfica con *Qt Designer* y tiene como resultado el archivo ejecutable que abrirá dicha aplicación de usuario, detallados dentro del *3.ManualProgramador_UI_TFM.pdf*:

1. *Diseño de la interfaz gráfica con Qt Designer (front-end)*⁴.
2. *Generación del código Python asociado al diseño gráfico.*
3. *Repetición del paso anterior para cada una de las ventanas (widgets) diseñadas.*
4. *Programación de la dinámica del software (back-end).*
5. *Generación del archivo ejecutable.*
6. *Ejecución de la aplicación.*

⁴ En diseño de software el *front-end* es la parte del software que interactúa con los usuarios y el *back-end* es la parte que procesa la entrada desde el *front-end*. La separación del sistema en *front-ends* y *back-ends* es un tipo de abstracción que ayuda a mantener las diferentes partes del sistema separadas.

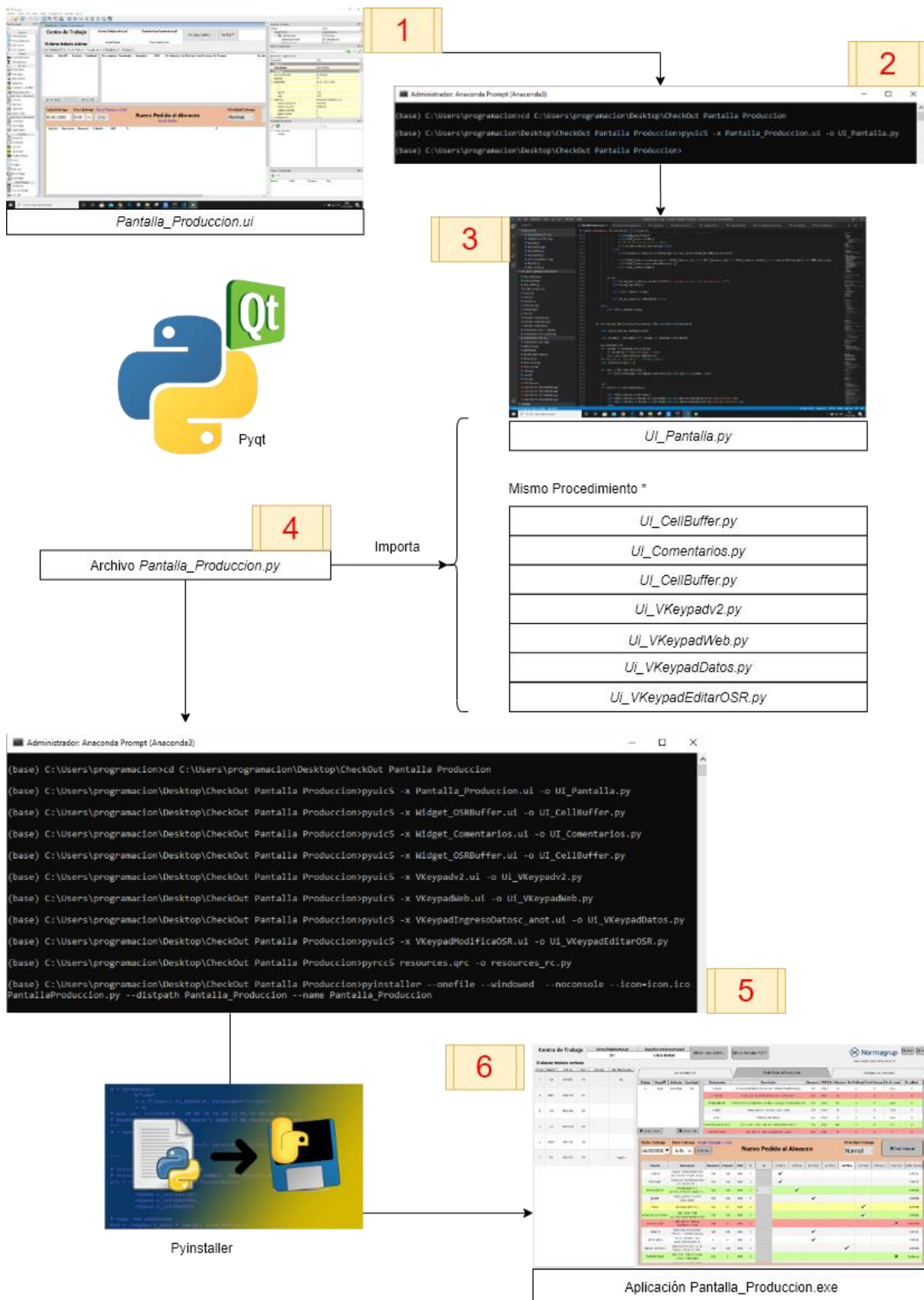


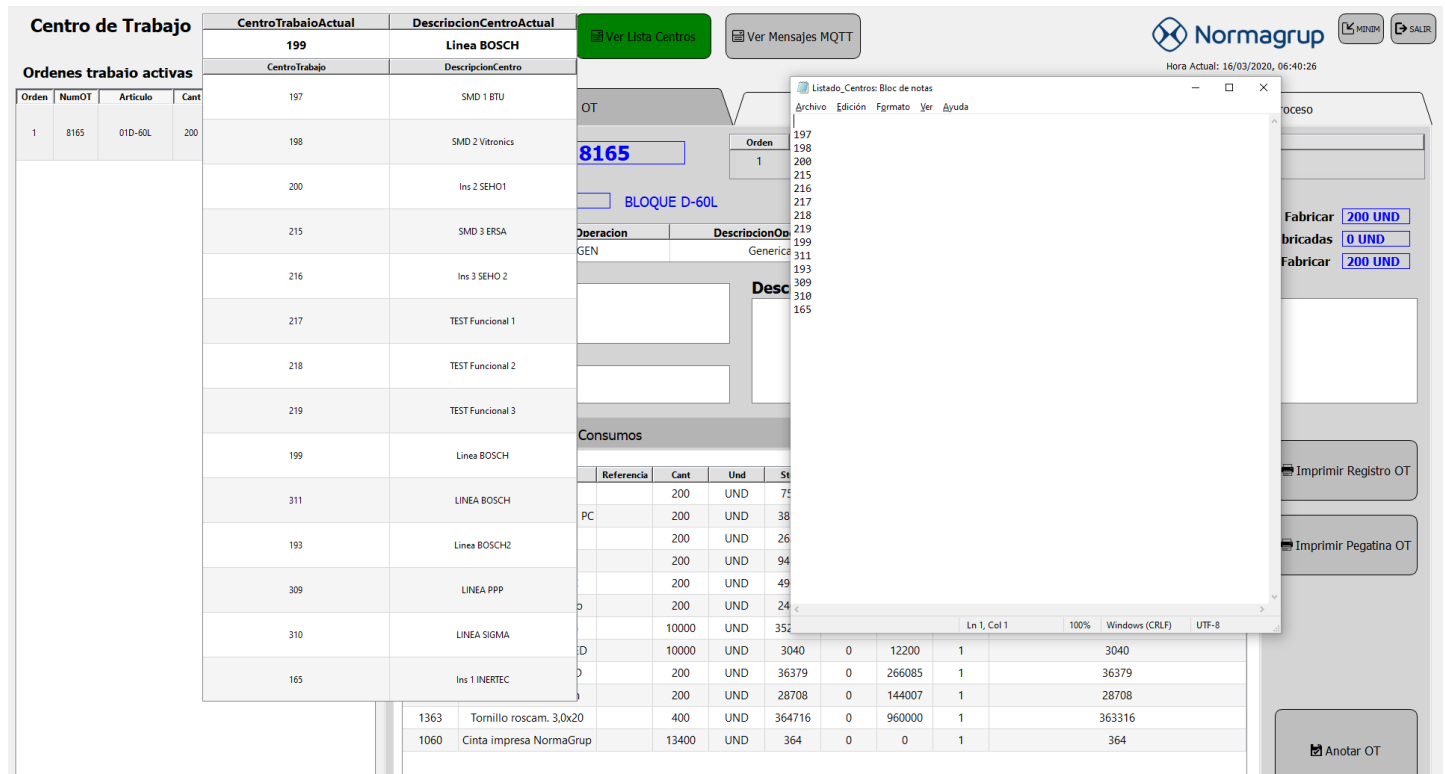
Figura 16. Pasos para creación ejecutable (3.ManualProgramador_UI_TFM.pdf)

4.1.2 Operativa aplicación de interfaz de usuario para el suministro de material

En las siguientes secciones se explicará la funcionalidad de manera global, los detalles del funcionamiento se encuentran dentro de su sección correspondiente del **2.ManualUsuario_UI_TFM.pdf**.

4.1.2.1 Selección del Centro de Trabajo

Al ingresar en esta sección, mediante consulta *SQL* se detallan los datos de una lista con todos los centros de trabajo, ingresados en un documento (“*Listado_Centros.txt*”) ubicado en la misma carpeta que la aplicación (Figura 17). De manera que el encargado cada sección pueda seleccionar dentro de los centros disponibles para cada ordenador terminal en donde se esté ejecutando la aplicación.



Orden	NumOT	Artículo	Cant
1	8165	01D-60L	200

Orden	Descripcion	Cant
197	SMD 1 BTU	
198	SMD 2 Vitronics	
200	Ins 2 SEHO1	
215	SMD 3 ERSA	
216	Ins 3 SEHO 2	
217	TEST Funcional 1	
218	TEST Funcional 2	
219	TEST Funcional 3	
199	Linea BOSCH	
311	LINEA BOSCH	
193	Linea BOSCH2	
309	LINEA PPP	
310	LINEA SIGMA	
165	Ins 1 INERTEC	

Referencia	Cant	Und	St
200	UND	75	
PC	200	UND	38
	200	UND	26
	200	UND	94
	200	UND	49
	200	UND	24
	10000	UND	352
	10000	UND	3040
	200	UND	36379
	200	UND	28708
	400	UND	364716
	13400	UND	364

Figura 17. Selección centro trabajo dentro de la lista

4.1.2.2 Lista de Ordenes de Trabajo correspondientes al Centro Seleccionado

Una vez seleccionado el centro de trabajo, mediante otra consulta *SQL*, se visualizan todas las ordenes de trabajo que se planificaron producir para dicho centro (dicha planificación se realiza mediante la *Interfaz de planificación* diseñada, posteriormente desarrollada en la sección 4.2). Junto con el orden cronológico de cada *Orden de Trabajo*, se proporciona el nombre y descripción del artículo, la cantidad a producir y la fecha de inicio de producción estimada.

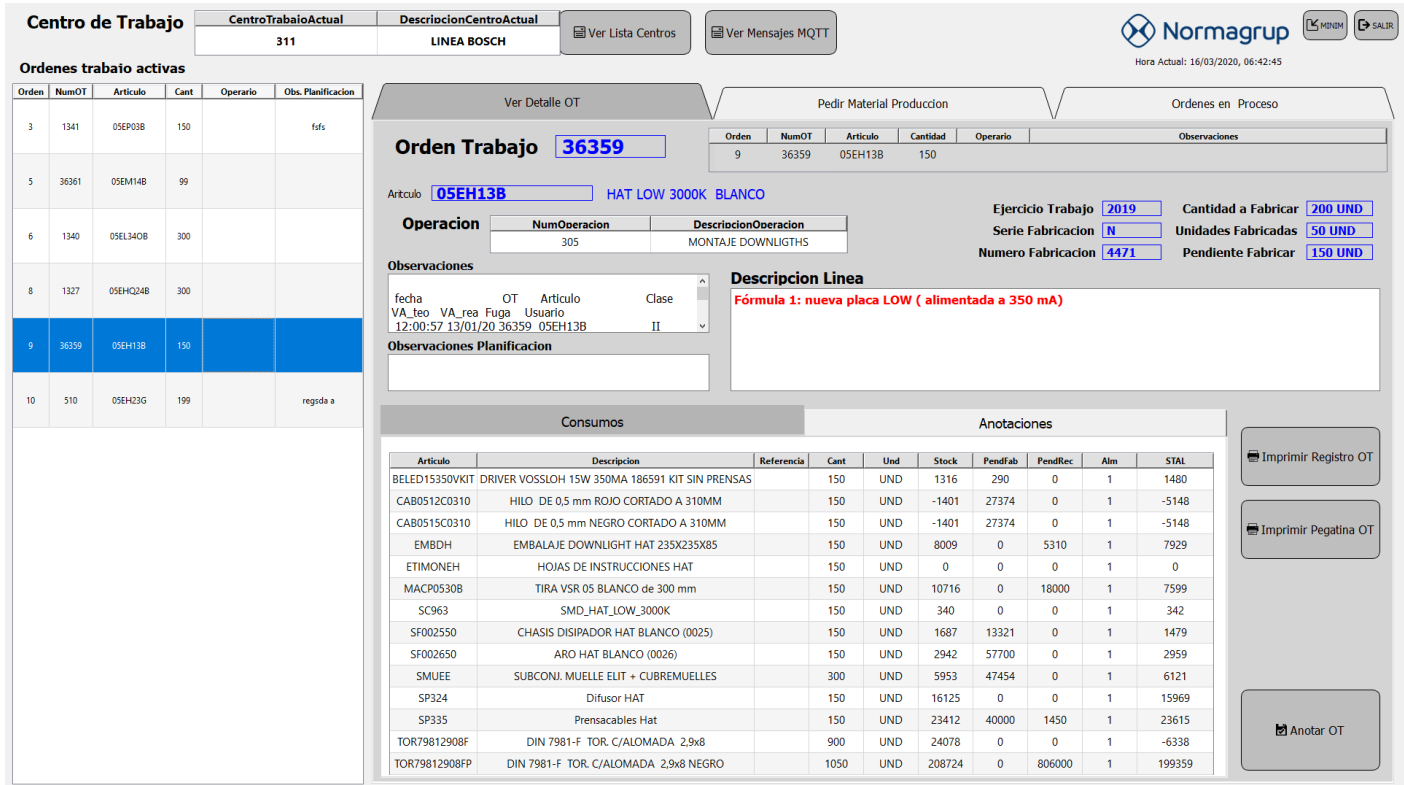
Dentro del cuadro principal de la interfaz, se pueden visualizar tres grandes pestañas: *Ver Detalle OT*, *Pedir Material Producción* y *Ordenes en Proceso*.

4.1.2.3 Ver Detalle OT: Pestaña de Detalle, Impresión de Etiquetas y Anotación de una Orden de Trabajo

En esta primera pestaña de detallan diferentes datos relacionada a la orden seleccionada (Figura 18). Dentro de los más importantes se encuentran:

- Numero orden trabajo, descripción del artículo a producir y operación a realizar.
- Cantidades a fabricar, fabricadas y pendientes de fabricar.
- Cuadro de los *componentes necesarios* para poder producir la orden de trabajo. Con el nombre, descripción, cantidad necesaria, referencia, y los diferentes stocks en almacén.

- *Impresión de Registro OT*, lanza el proceso necesario para descargar vía web e imprimir el documento A4 utilizado por el usuario para ayuda y anotaciones manuales.
- *Impresión de Pegatinas OT*, análogo al proceso anterior para la impresión de las pegatinas que se colocan en los contenedores donde se almacena la producción, necesarios para la identificación y trazabilidad de stock.
- *Anotación de OT*, registrando las unidades fabricadas y rechazadas para movimientos de stock ERP.



Centro de Trabajo CentroTrabajoActual: 311 DescripciónCentroActual: LINEA BOSCH

Ordenes trabajo activas

Orden	NumOT	Artículo	Cant	Operario	Obs. Planificación
3	1341	05EP03B	150		fsfs
5	36361	05EM14B	99		
6	1340	05EL340B	300		
8	1327	05EHQ24B	300		
9	36359	05EH13B	150		
10	510	05EH23G	199		regida a

Orden Trabajo 36359

Artículo: 05EH13B HAT LOW 3000K BLANCO

Operación: 305 MONTAJE DOWNLIGHTS

Ejercicio Trabajo: 2019 Cantidad a Fabricar: 200 UND
 Serie Fabricacion: N Unidades Fabricadas: 50 UND
 Numero Fabricacion: 4471 Pendiente Fabricar: 150 UND

Consumos

Artículo	Descripcion	Referencia	Cant	Und	Stock	PendFab	PendRec	Alm	STAL
BELED15350VKIT	DRIVER VOSSLOH 15W 350MA 186591 KIT SIN PRENSAS		150	UND	1316	290	0	1	1480
CAB0512C0310	HILO DE 0,5 mm ROJO CORTADO A 310MM		150	UND	-1401	27374	0	1	-5148
CAB0515C0310	HILO DE 0,5 mm NEGRO CORTADO A 310MM		150	UND	-1401	27374	0	1	-5148
EMBDH	EMBALAJE DOWNLIGHT HAT 235X235X85		150	UND	8009	0	5310	1	7929
ETIMONEH	HOJAS DE INSTRUCCIONES HAT		150	UND	0	0	0	1	0
MACP0530B	TIRA VSR 05 BLANCO de 300 mm		150	UND	10716	0	18000	1	7599
SC963	SMD_HAT_LOW_3000K		150	UND	340	0	0	1	342
SF002550	CHASIS DISIPADOR HAT BLANCO (0025)		150	UND	1687	13321	0	1	1479
SF002650	ARO HAT BLANCO (0026)		150	UND	2942	57700	0	1	2959
SMUEE	SUBCONJ. MUELLE ELIT + CUBREMUELLES		300	UND	5953	47454	0	1	6121
SP324	Difusor HAT		150	UND	16125	0	0	1	15969
SP335	Prensacables Hat		150	UND	23412	40000	1450	1	23615
TOR79812908F	DIN 7981-F TOR. C/ALOMADA 2,9x8		900	UND	24078	0	0	1	-6338
TOR79812908FP	DIN 7981-F TOR. C/ALOMADA 2,9x8 NEGRO		1050	UND	208724	0	806000	1	199359

Figura 18. Ejemplo Pestaña de Detalle

4.1.2.4 Pedir Material Producción: Pestaña para agregar, editar y enviar un Nuevo Pedido de Material

Si además de pulsar cada una de las *Ordenes de Trabajo* deseadas, arrastramos la misma hacia la sección principal, dicha *OT* se agrega a un listado de órdenes de trabajo para las cuales se procederá a solicitar los componentes necesarios que encuentren almacenados en el *Miniload* (Figura 19).

Dentro de esta pestaña se posibilita configurar la totalidad del pedido de contenedores al *Miniload* con el material necesario, incluido:

- Fecha y Hora de Entrega del Pedido.
- Prioridad del Perdido (De Urgente a Muy Baja)
- Cantidad de cada uno de los componentes a recibir.
- Versión y calidad de cada de los componentes a recibir.
- Tipo de envío y Ubicación de recepción de cada componente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Envío Automático: } \quad \text{Buffer}_i \forall i = 1, \dots, \text{Cant Buffers del Centro} \\ \text{Envío Manual: } \quad \text{Retiro Manual de los contenedores en la salida del Miniload} \end{array} \right.$$


Centro de Trabajo

CentroTrabajoActual
311

DescripciónCentroActual
LINEA BOSCH

Ver Lista Centros

Ver Mensajes MQTT



Hora Actual: 16/03/2020, 06:45:59

Ordenes trabajo activas

Orden	NumOT	Artículo	Cant	Operario	Obs. Planificación
3	1341	05EP03B	150		fsfs
5	36361	05EM14B	99		
6	1340	05EL340B	300		
8	1327	05EHQ24B	300		
9	36359	05EH13B	150		
10	510	05EH23G	199		regada a

Ver Detalle OT

Pedir Material Producción

Ordenes en Proceso

Orden	NumOT	Artículo	Cantidad	Componente	Descripcion	Necesario	UND	En Ubicacion	En MiniLoad	Pend Entregar	En Almacen	En calidad
3	1341	05EP03B	150	CF0020	CHASIS DISIPADOR DOWN ELIT MICRO NEGRO (0020)	150	UND	0	0	0	8735	0
				ETIMONEL	HOJAS DE INSTRUCCIONES ELIT TODO EN 1	150	UND	0	0	0	0	0
				PORLAMEPKIT	PORTALAMP ELIT MICRO+CONNECT+CABLES+FUNDA(0013-A)	150	UND	457	0	0	2360	0
				EMBEP	EMBALAJE ELIT MICRO 235x120x80	150	UND	0	0	0	1590	0
				SP321	Reflector Elit Micro	152	UND	0	0	0	2332	0
				BOMLEDCXA150783C	LED "COB" CREE CXA1507-0000-000F00G430F	150	UND	488	0	0	691	0
				TOR79812908F	DIN 7981-F TOR. C/ALOMADA 2.9x8	750	UND	0	0	0	0	0

Fecha Entrega: 16/03/2020
 Hora Entrega: 6:45 hs
 Actual (Agregar a Cola)

Nuevo Pedido al Almacen

Prioridad Entrega: Normal

Artículo	Descripcion	Necesario	A Recibir	UND	V	Q	L01P01E	L01P02E	L01P03E	L01P04E	L01P05E	L01P06E	MANUAL	No Enviar	Buffer Destino
CF0020	CHASIS DISIPADOR DOWN ELIT MICRO NEGRO (0020)	150	150	UND	0		✓								L01P01E
ETIMONEL	HOJAS DE INSTRUCCIONES ELIT TODO EN 1	150	150	UND	0		✓								L01P01E
PORLAMEPKIT	PORTALAMP ELIT MICRO+CONNECT+CABLES+...	150	150	UND	0	3		✓							L01P02E
EMBEP	EMBALAJE ELIT MICRO 235x120x80	150	150	UND	0				✓						L01P03E
SP321	Reflector Elit Micro	152	151	UND	0							✓			L01P06E
BOMLEDCXA150783C	LED "COB" CREE CXA1507-0000-000F00G430F	150	150	UND	0							✓			L01P06E
TOR79812908F	DIN 7981-F TOR. C/ALOMADA 2.9x8	750	0	UND	0									✗	No Enviar
SMUEEP	SUBCONJ. MUELLE ELIT MICRO + CUBREMUELLES	300	300	UND	0				✓						L01P03E
10PTERMICA	PASTA TERMICA NO ADHESIVA NORDSON	0	0	UND	0				✓						L01P03E
BELED13350VKIT	DRIVER VOSSLOH 13.3W 350MA 186341 KIT SIN ...	150	150	UND	0						✓				L01P05E
TOR79812965F	DIN 7981 TOR. R/CHAPA 2.9x6.5 F ZINCADO	450	0	UND	0									✗	No Enviar

Figura 19. Ejemplo Pestaña Pedir Material Producción

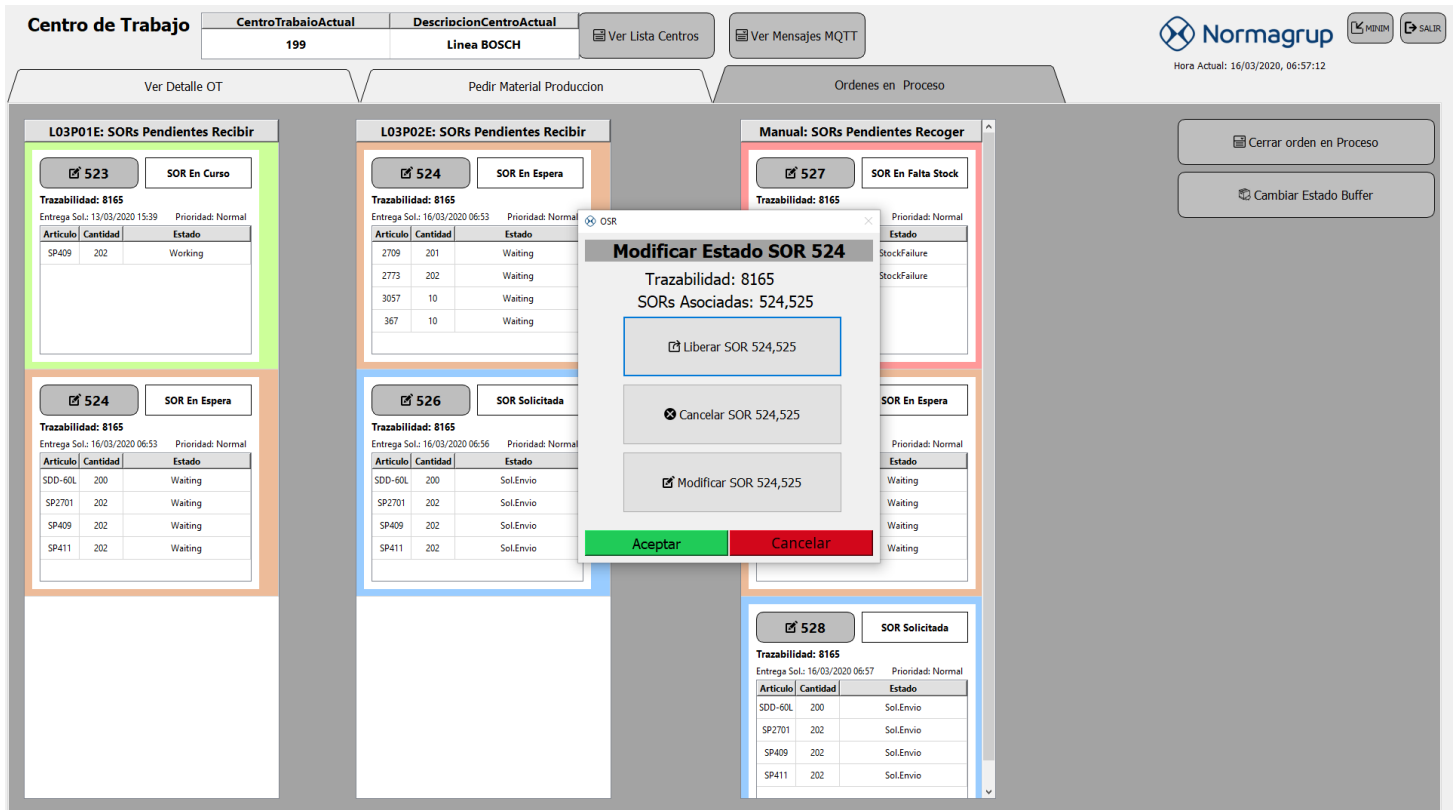
Una vez configurado el pedido según su necesidad, el usuario puede confirmar el pedido. En dónde se genera y envía el archivo XML de solicitud de entrega de material (SOR) a la carpeta compartida con *Mecalux*. Comenzando el proceso de intercambio de mensajes con el mismo para su correcto funcionamiento, detallado en la Figura 21.

4.1.2.5 Ordenes en Proceso: Pestaña para la visualización de los pedidos en curso

Tanto los pedidos recientemente solicitados, como los demás pedidos de material en curso se encuentran en esta pestaña (Figura 20). En la misma se visualizan todos los *Bufferes* asociados a dicho centro de trabajo, con la lista de todos los pedidos de material y su estado actual, dentro de los posibles:

- Estado del pedido: *SOR Solicitada, SOR en Espera, SOR en Curso y SOR Finalizada.*
- Artículos a enviar: *Nombre, Cantidad pendiente a recibir y Estado del Mismo (Entregando, Falta de Stock, etc)*

Además de los datos anteriormente detallados, se posibilita la edición de cada petición al pulsar sobre su número correspondiente. En primer lugar, se puede *cancelar* dicha petición, *liberar* las peticiones en estado de espera para que se ejecuten instantáneamente o *modificar* parámetros de un pedido ya creado. En este último caso se permite diferentes escalas de modificación según el estado que se encuentre el pedido. Para llevar a cabo cada una de estas acciones se genera y envía el mensaje correspondiente al almacén, procediendo a la lectura de su respectiva respuesta.



Centro de Trabajo CentroTrabajoActual: 199 DescripciónCentroActual: Línea BOSCH Ver Lista Centros Ver Mensajes MQTT Normagrup Hora Actual: 16/03/2020, 06:57:12

Ver Detalle OT Pedir Material Producción Ordenes en Proceso

L03P01E: SORs Pendientes Recibir (SOR 523) SOR En Curso

L03P02E: SORs Pendientes Recibir (SOR 524) SOR En Espera

Manual: SORs Pendientes Recoger (SOR 527) SOR En Falta Stock

Modificar Estado SOR 524

Trazabilidad: 8165
SORs Asociadas: 524,525

Liberar SOR 524,525

Cancelar SOR 524,525

Modificar SOR 524,525

Aceptar Cancelar

Figura 20. Ejemplo Pestaña Ordenes en Proceso

4.1.3 Comunicación con el almacén automático, mediante ficheros XML

A continuación, se detalla el intercambio de mensajes XML entre la interfaz de suministro (ERP) y el almacén (Easy WMS) junto con ejemplos generados de órdenes de salida junto con sus respectivas respuestas de confirmación o errores, durante el proceso de suministro de material. En la Figura 21, Figura 22, Figura 23 y Figura 24 se brindan ejemplos de mensajes de creación, modificación y cierre de una orden de salida mientras que en la Figura 25 y Figura 26 se ejemplifica las notificaciones de un posible mensaje de error en dicho proceso.

4.1.3.1 Comunicación de órdenes de salida

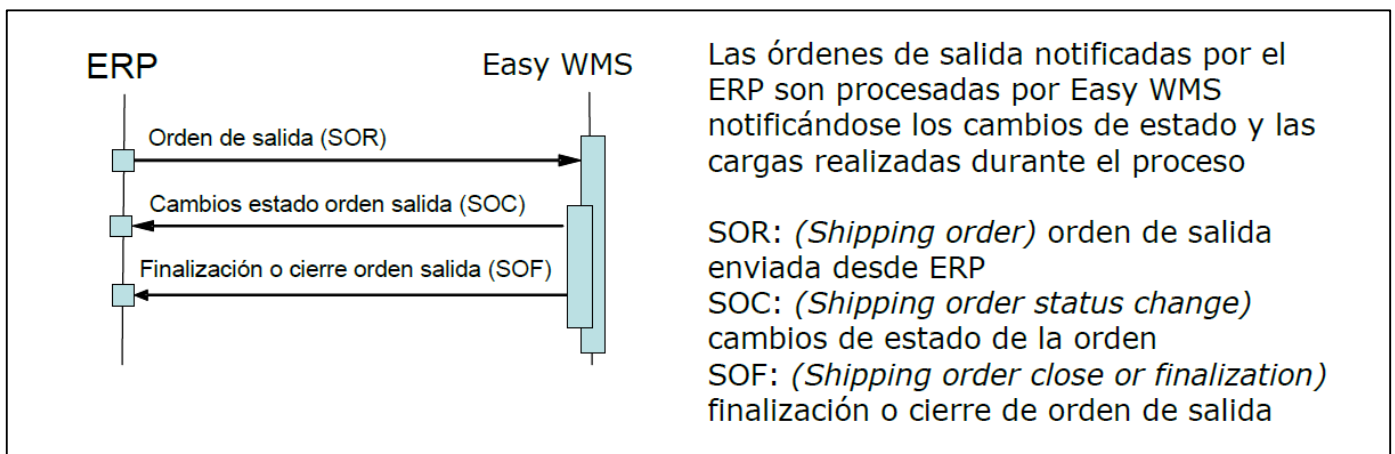


Figura 21. Intercambio mensajes SOR

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ShippingOrders xmlns="urn:wms-schema">
  - <ShippingOrder ignoreNull="false">
    <Operation>C</Operation>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <SorCode>515</SorCode>
    <Priority>Normal</Priority>
    <SorType>Customer</SorType>
    <DeskLocationCode>BOSCH03</DeskLocationCode>
    <Document>8165</Document>
  - <Lines transactional="true" complete="true">
    - <Line>
      <Operation>C</Operation>
      <LneNumber>1</LneNumber>
      <LneItemCode>SP409</LneItemCode>
      - <LneQuantity>
        <LneQtyOrder>21889</LneQtyOrder>
        <LneQtyUoMCode>UND</LneQtyUoMCode>
      </LneQuantity>
      - <LneCustomAttributes>
        <LneCstAtt01>21687</LneCstAtt01>
        <LneCstAtt02>L03P01E</LneCstAtt02>
        <LneCstAtt03>5</LneCstAtt03>
      </LneCustomAttributes>
    </Line>
    - <Line>
      <Operation>C</Operation>
      <LneNumber>2</LneNumber>
      <LneItemCode>SP451</LneItemCode>
      - <LneQuantity>
        <LneQtyOrder>15979</LneQtyOrder>
        <LneQtyUoMCode>UND</LneQtyUoMCode>
      </LneQuantity>
      - <LneCustomAttributes>
        <LneCstAtt01>15777</LneCstAtt01>
        <LneCstAtt02>L03P01E</LneCstAtt02>
        <LneCstAtt03>5</LneCstAtt03>
      </LneCustomAttributes>
    </Line>
  </Lines>
  - <CustomAttributes>
    <CstAtt02>automatico</CstAtt02>
  </CustomAttributes>
  - <Planning>
    <PlnAutoReleaseDate>2020-03-10T14:12:00Z</PlnAutoReleaseDate>
  </Planning>
</ShippingOrder>
</ShippingOrders>

```

Figura 22. Ejemplo Mensaje SOR

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ShippingOrderStatusChanges xmlns="urn:wms-schema">
  - <ShippingOrderStatusChange>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <SorCode>523</SorCode>
    <Status>Release</Status>
    <UpdateDate>2020-03-13T14:40:26Z</UpdateDate>
  </ShippingOrderStatusChange>
</ShippingOrderStatusChanges>

```

Figura 23. Ejemplo Mensaje SOC


```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <ShippingOrderFinalizations xmlns="urn:wms-schema">
  - <ShippingOrderFinalization>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <SorCode>522</SorCode>
    <Status>Closed</Status>
    <ClosingNum>1</ClosingNum>
    <Document>8165</Document>
    - <Preparation>
      <PrpContainers>0</PrpContainers>
      <PrpReleaseDate>2020-03-13T14:16:08Z</PrpReleaseDate>
    </Preparation>
    - <CustomAttributes>
      <CstAtt02>automatico</CstAtt02>
    </CustomAttributes>
  </ShippingOrderFinalization>
</ShippingOrderFinalizations>
```

Figura 24. Ejemplo Mensaje SOF

4.1.3.2 Comunicación de errores

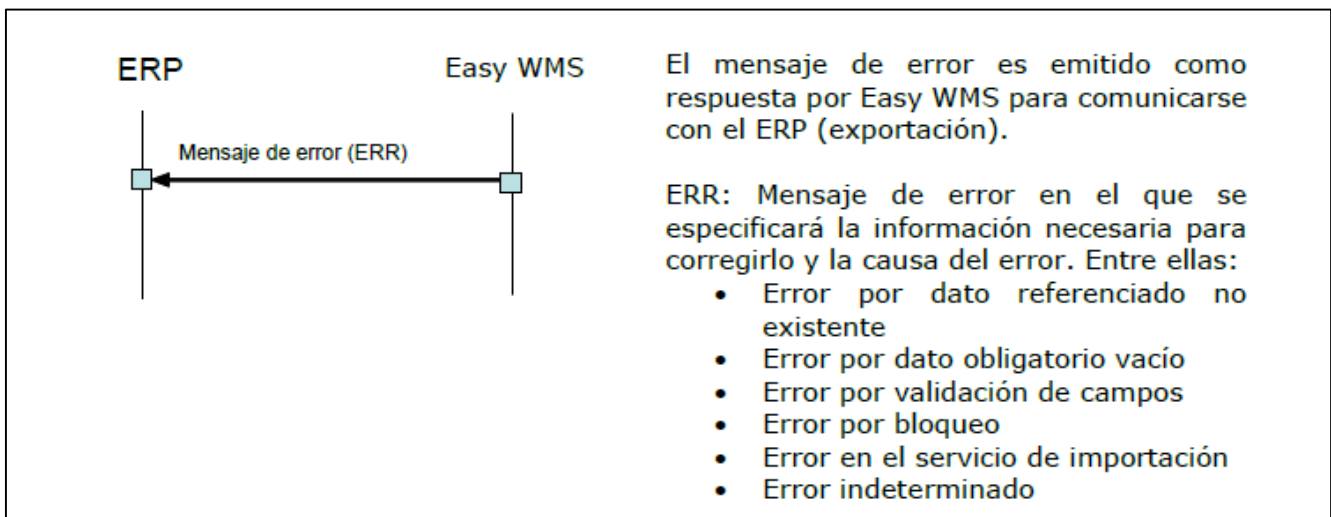


Figura 25. Envío mensajes Errores

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <Errors xmlns="urn:wms-schema">
  - <Error>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <MsgType>SOR01</MsgType>
    <Batch>SOR0120200304170930000.xml</Batch>
    - <NestedErrors>
      - <NestedError>
        <ErrDesc>Shipping order does not exist</ErrDesc>
        <ErrException>Error sending command [OutboundOrderForceCloseCommand]
          Option: D Code: 473 Site: NORMAGRUP</ErrException>
        <ErrDate>2020-03-04T16:22:59Z</ErrDate>
      </NestedError>
    </NestedErrors>
  </Error>
</Errors>
```

Figura 26. Ejemplo mensaje Error

4.1.4 Actualización del estado de la petición mediante la captura de los mensajes MQTT

Como se ha introducido cada una de las interfaces de suministro implementadas se suscribe a diferentes *tópicos* del *bróker* MQTT, con el objetivo de contar con un seguimiento del estado de la entrega del pedido: creación de una nueva tarea de entrega, actualización del estado de dicha tarea, etc. En la siguiente Figura 27 se observan distintos ejemplos de mensajes MQTT obtenidos durante el proceso de suministro automático de material a puestos de trabajo.

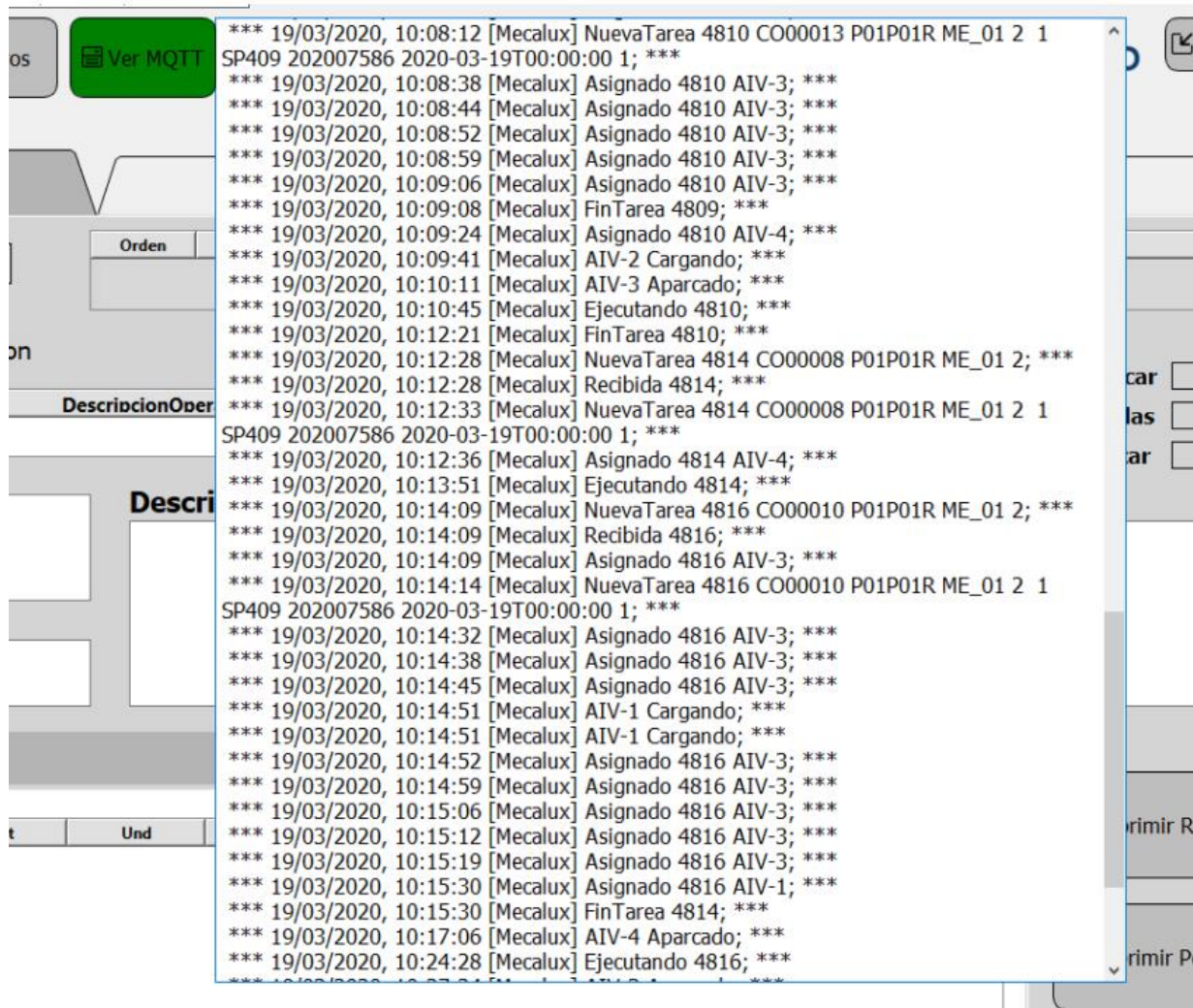


Figura 27. Ejemplo secuencia mensajes MQTT capturados

4.2 Interfaz de Planificación de Ordenes de Trabajo

A medida que se llevaba a cabo el desarrollo de la *Interfaz de Producción* anteriormente detallada, han surgido nuevas necesidades de contar con herramientas tanto como para posibilitar una correcta planificación de las ordenes de trabajo a producir como también la visualización del estado de los búferes de entrega de material (que será desarrollada en la sección 4.3).

En la presente unidad se brinda un enfoque del funcionamiento global de las mismas, la explicación operativa de este software en detalle se encuentra dentro de su correspondiente sección del “*2.ManualUsuario_UI_TFM.pdf*”.

En primer lugar, se desarrolló una *Interfaz de Planificación*, la cual permite seleccionar y ordenar la lista de órdenes de trabajo a producir en cada centro de trabajo (Figura 28). El funcionamiento de la misma, a grandes rasgos, consiste en consultar en una tabla de *BDD* todas las ordenes de trabajo creadas (con su número de identificación, articulo a producir y cantidad) correspondientes a un centro de trabajo. Permitiendo seleccionar, reordenar y agregar comentarios a dichas ordenes, volviendo a guardarlas en otra tabla de la *BDD* correspondiente, que será la tabla utilizada en la *Interfaces de Producción*. En las Figura 29 y Figura 30 se brindan capturas de la aplicación desarrollada.

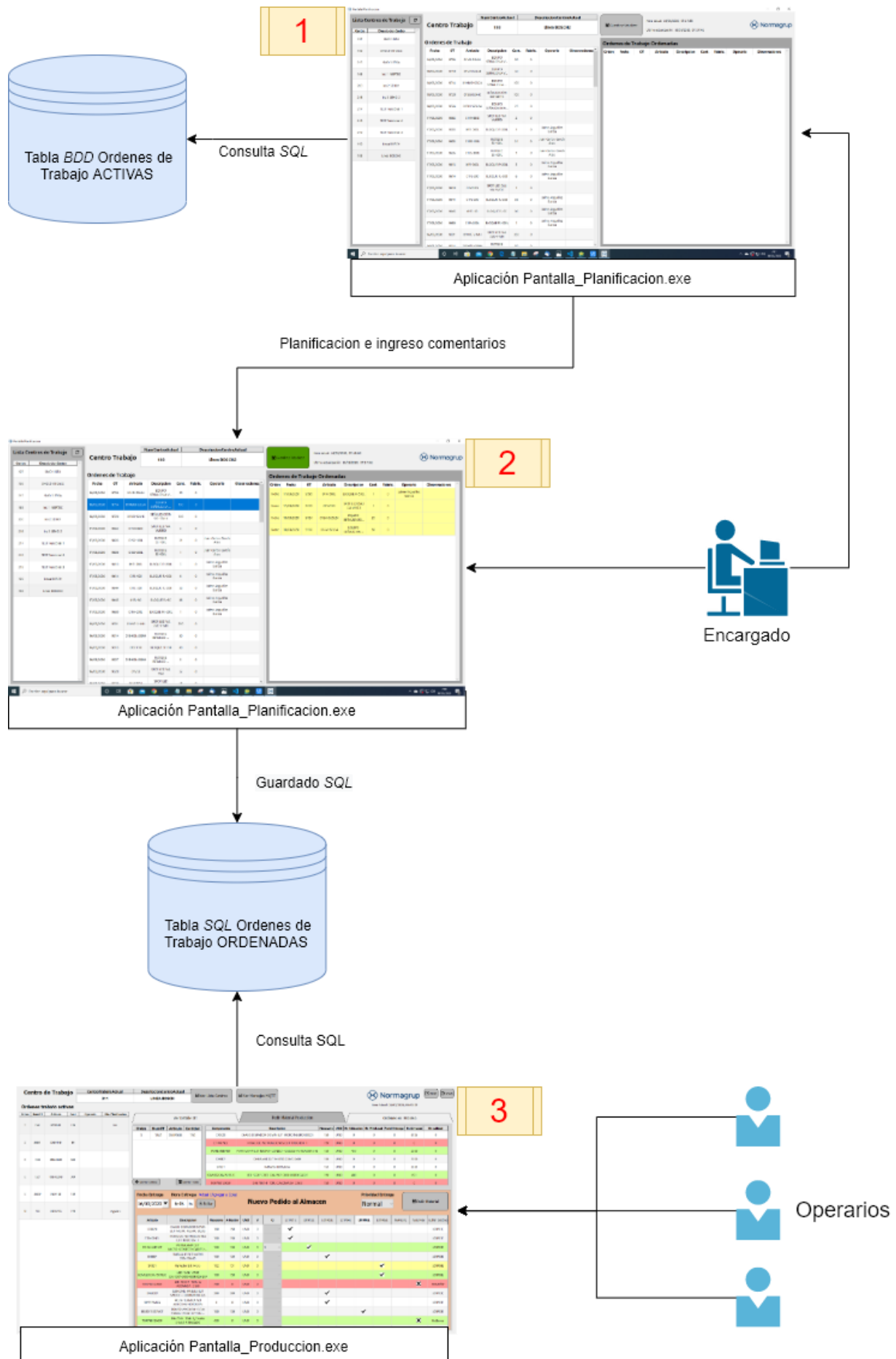


Figura 28. Procedimiento planificación producción

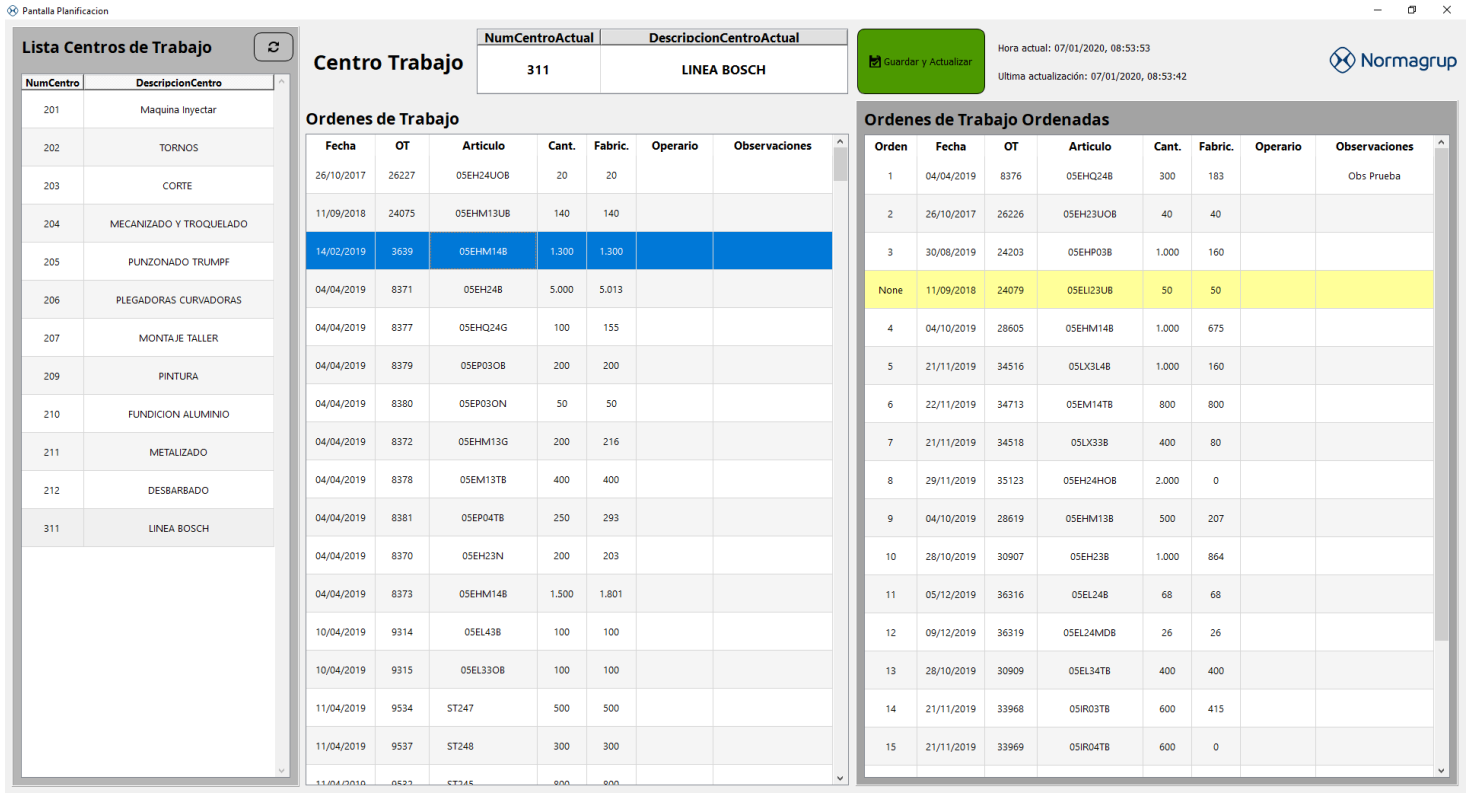


Figura 29. Software de planificación de Ordenes de trabajo diseñado

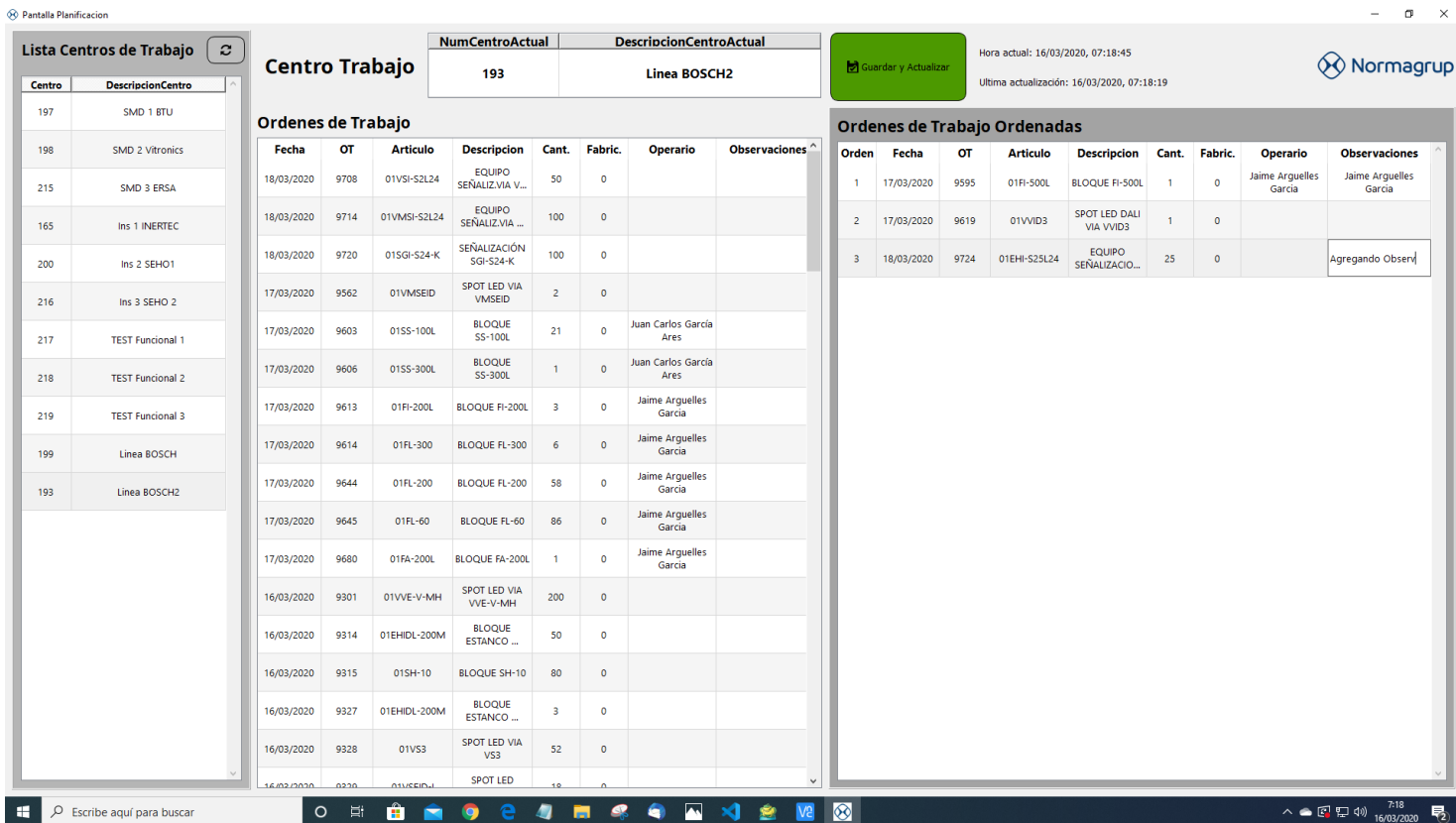


Figura 30. Ejemplo agregado comentario planificación

4.3 Interfaz de Visión General de los búferes de Entrega/Recepción de Materiales

Por otro lado, también ha surgido la necesidad de una *Interfaz General* que actúe como visión global de los buffers de entrega y recogida de material. La misma funciona como un pequeño *SCADA* de esta parte del proyecto, donde la actualización de los datos de esta interfaz se realiza capturando los mensajes *MQTT* de los tópicos pertenecientes al *Miniload* y los *AIV*. Dichos mensajes brindan información como la cantidad de huecos libres en el buffer correspondiente y el estado de entrega de los *AIV*.

4.3.1 Flujo Node-Red

En la Figura 31, se detalla el flujo *Node-Red* implementado para la correcta captura, almacenamiento y reenvío del último mensaje *MQTT* recibido a través de la suscripción al bróker dentro del tópico *huecos*.

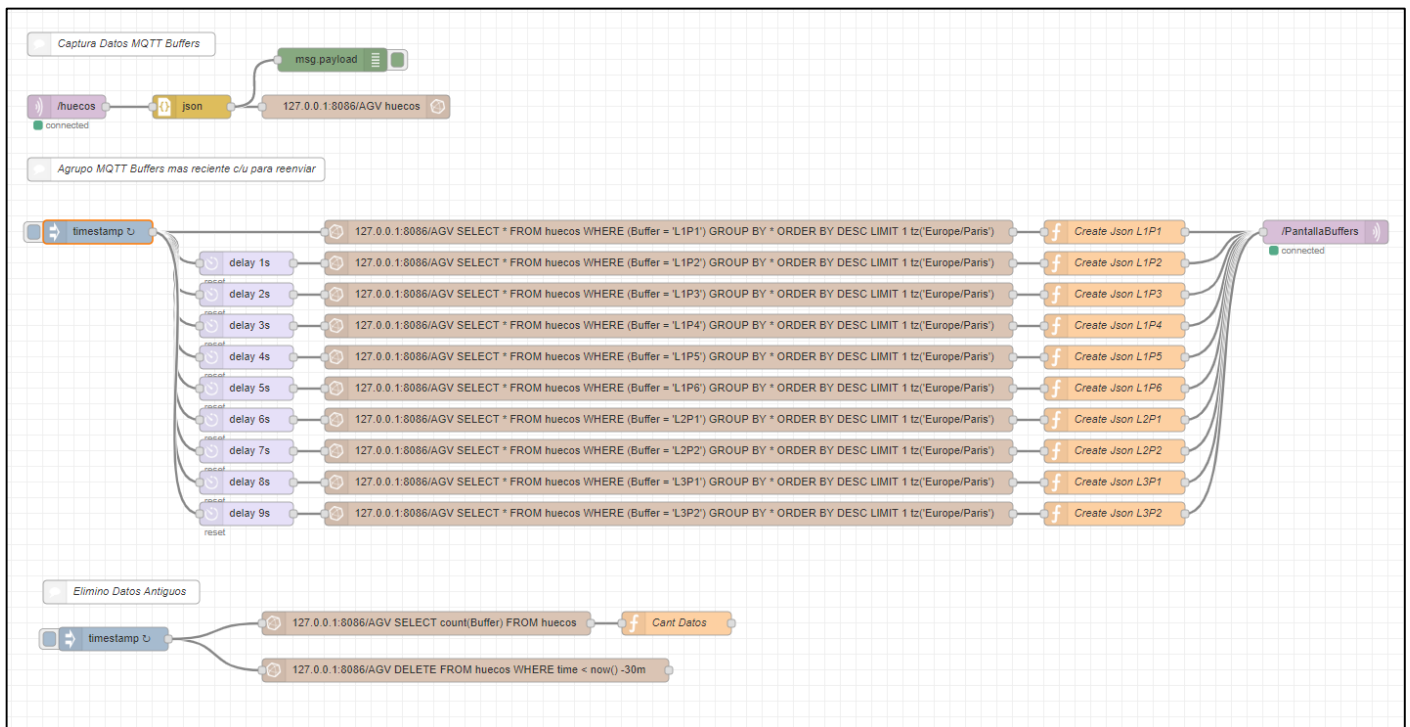


Figura 31. Flujo Node-RED implementado

4.3.1.1 Captura Mensajes

Para la correcta captura y almacenamiento de estos mensajes previo a su visualización, se implementó un flujo de *Node-Red* con un nodo cliente *MQTT* (Figura 32). El mismo captura los mensajes originales, los procesa y convierte en un mensaje *json* para finalmente almacenarlos en una tabla de base de datos *InfluxDB*⁵.

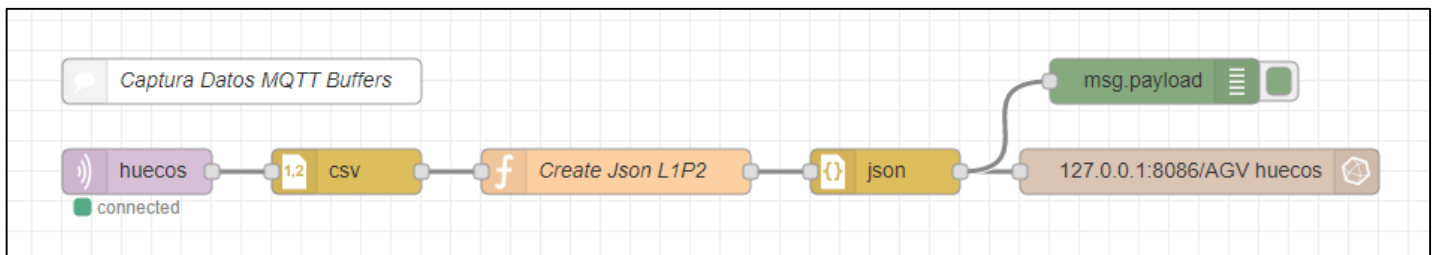


Figura 32. Proceso Captura y Almacenaje

⁵ Base de datos de series temporales de código abierto desarrollada por *InfluxData*

4.3.1.2 Selección del mensaje más reciente de cada buffer

Mediante un conjunto de consultas *SQL*, el objetivo de esta parte del flujo (Figura 33) es seleccionar el dato más reciente de la tabla *SQL* (estado actual de cada búfer), convertirlo en formato *json* y reenviarlos a la interfaz de Visión General cada un determinado periodo de tiempo (tiempo de actualización de la interfaz).

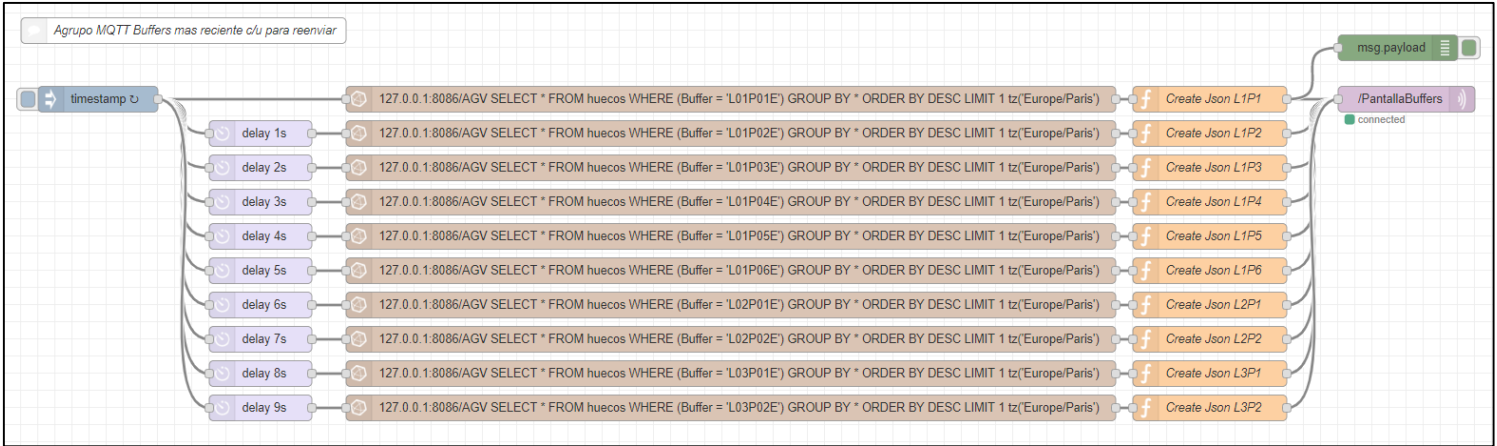


Figura 33. Proceso selección dato más reciente

4.3.1.3 Actualización de los datos en Tabla

Por último, se seleccionan todos los datos de la tabla cuyo tiempo de envío tiene una antigüedad de menor de 24 hs, tiempo en el cual se calculan el promedio de utilización mediante histograma (Figura 34).

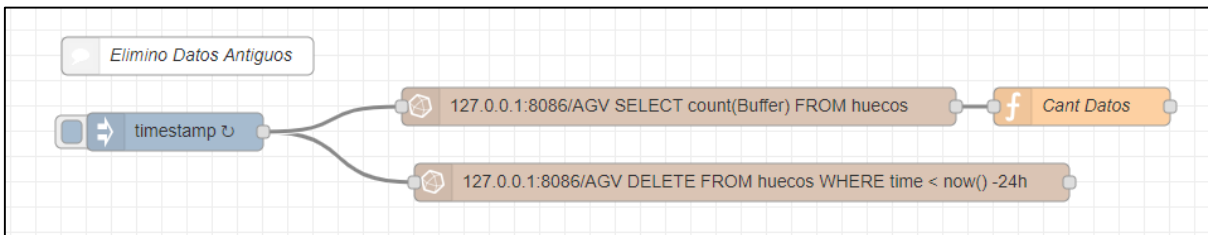


Figura 34. Proceso actualización

4.3.1.4 Dashboard Grafana

Grafana es un software libre que permite la visualización y el formato de datos métricos. Permite crear cuadros de mando y gráficos a partir de múltiples fuentes, incluidas bases de datos de series de tiempo como *Graphite*, *InfluxDB* y *OpenTSDB*. En este caso se ha utilizado para diseñar un *dashboard* que indique la ocupación de los buffers de entrega de contenedores tanto en tiempo real (gráficos circulares), como su evolución en el tiempo e histogramas (Figura 35). Dichos datos se podrían utilizar luego para realizar reportes de producción y/o modificaciones en la planificación de producción.





Figura 35. Ilustraciones Grafana diseñado

4.3.2 Interfaz de estado de ocupación de cada uno de los Búferes

Una vez que los mensajes originales son capturados, procesados (y visualizados en *Grafana*) como paso final se diseñó una interfaz de usuario que actué como un pequeño *SCADA* de esta parte del proyecto para ubicarlo en planta (Figura 36).

En la parte derecha de la pantalla se observa la ubicación física de cada uno de los búferes en la planta productiva, con sus respectivas capacidades de cajas y el estado libre u ocupado de cada hueco. Por otro lado, en la parte izquierda se detallan los últimos mensajes *MQTT* recibidos de cada uno de los *tópicos* que a los que se ha suscripto.

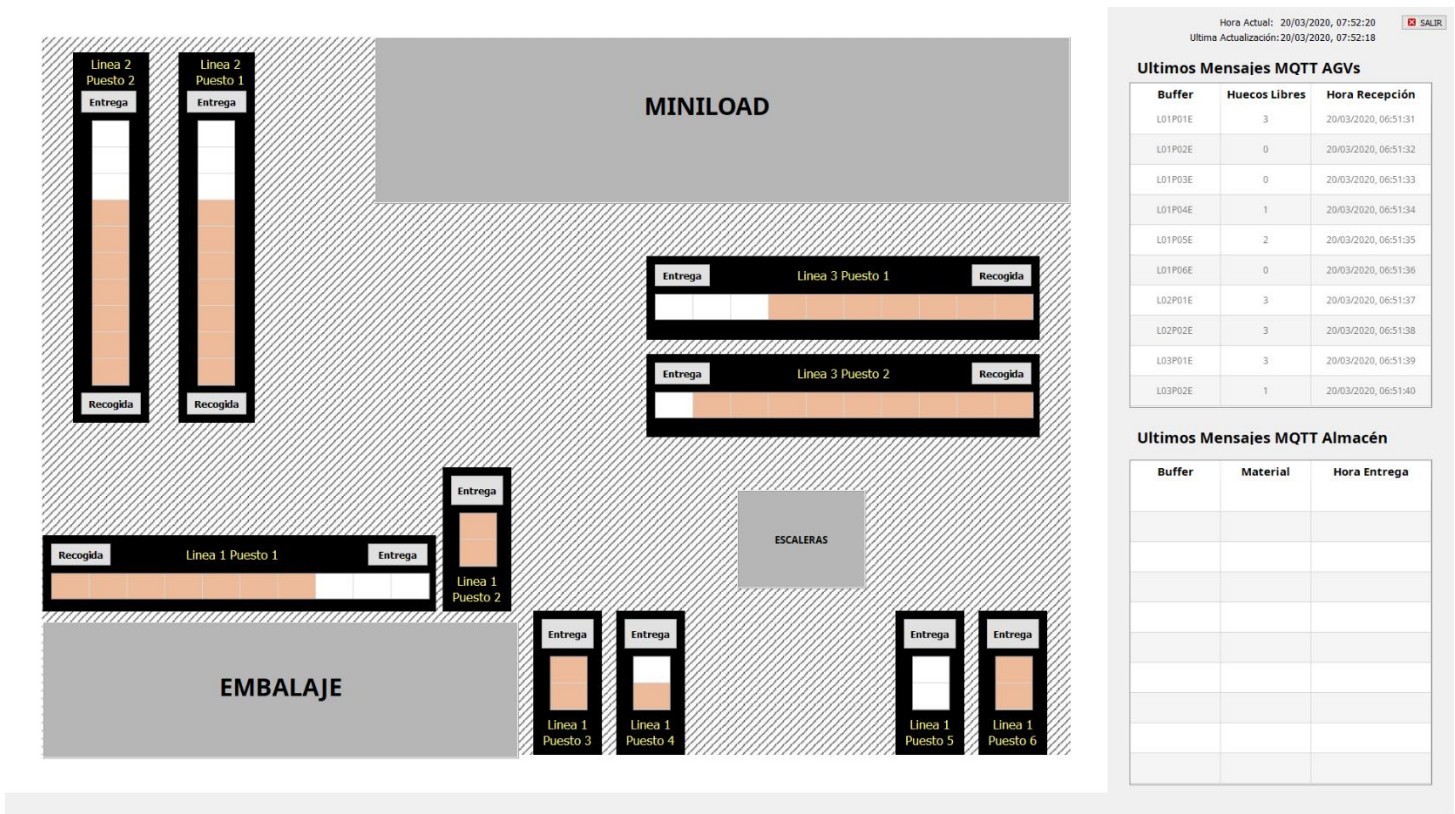


Figura 36. Interfaz de visualización estado buffers diseñada

4.4 Interfaz Ingreso: Ingreso de nuevo material hacia el almacén

Para el caso de ingreso de mercaderías, además de la parte de informática y software de interfaz de usuario análogo al de suministro, se han llevado a cabo en conjunto con el Departamento de Mecánica y Mantenimiento el diseño del *layout* mecánico de células automatizadas para la recepción y colocación de nuevas mercaderías en cajas contenedoras. Dentro de las tareas más importantes realizadas en esta sección fueron:

- Propuesta de *Layout* de células de trabajo, selección de componentes hardware necesarios para la correcta introducción, pesado e identificación de nuevas mercaderías (ejes lineales, cilindros, celdas de carga, motores, lectores de código de barras, etc).
- Programación y simulación de autómatas *Beckhoff*.
- Programación de software interfaz de usuario para el ingreso de nuevo material asociado a cada célula de trabajo.
- Comunicación con el almacén (archivos *XML*) y los *AIVs (MQTT)* para el transporte autónomo de dichas cajas desde las células de trabajo diseñadas hacia el almacén automático.
- Comunicación con el software de gestión empresarial (*SAGE*) mediante *SQL Server* para lectura/escritura de *BDDs* con la información necesaria.

4.4.1 Layout de células de trabajo

Las células de trabajo diseñadas están conformadas por una *estación desapiladora de contenedores* en su etapa inicial y un posterior *sistema de identificación, pesado y almacenaje de material* previo al envío de contenedores completos al *Miniload* (Figura 37).

El *desapilador de contenedores* (Figura 38), como su nombre lo indica, recibe columnas de una determinada cantidad de contenedores vacíos apilados y su función consta de brindar constantemente un único contenedor vacío cuando el mismo sea necesario. Por otro lado, en la parte central de dichas células, se encuentran un camino de rodillos con bascula de pesado, un lector de códigos de barras, una pantalla de usuario con la interfaz de ingreso diseñada y diferentes sensores laser que se encargan de la *identificación, pesado y almacenaje del material* en los contenedores vacíos previamente suministrados.

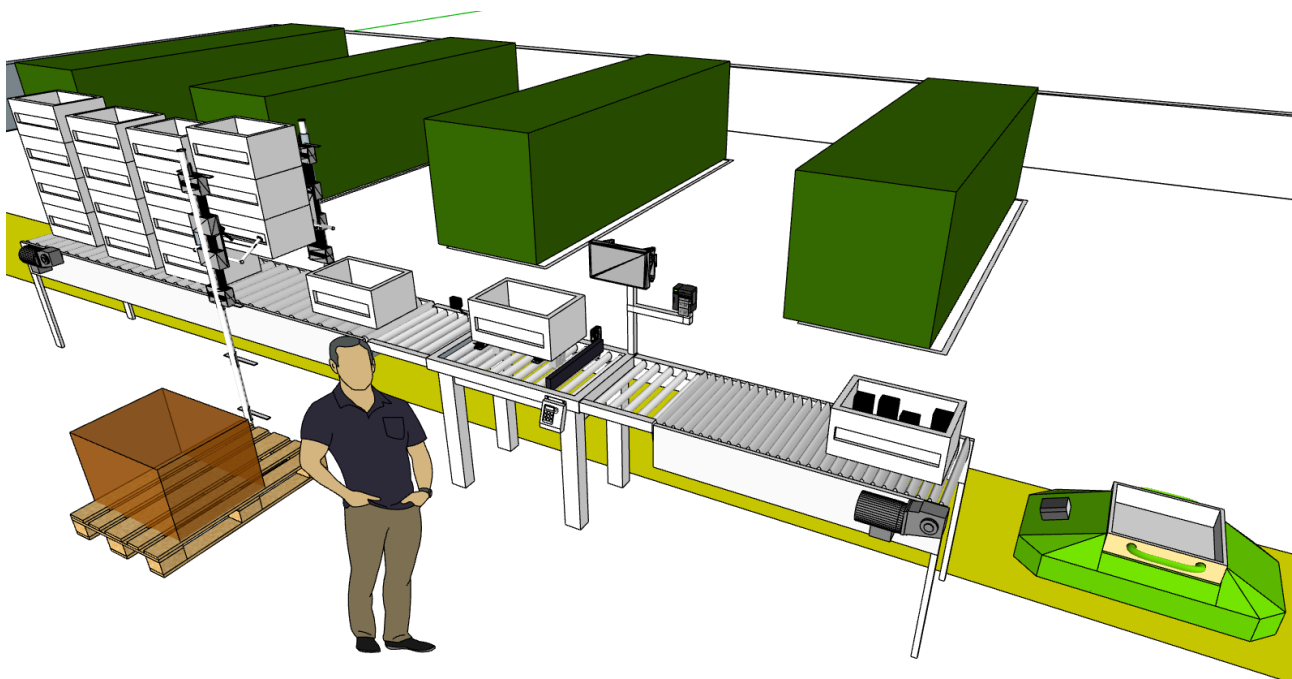


Figura 37. Versión inicial prototipo de células a implementar

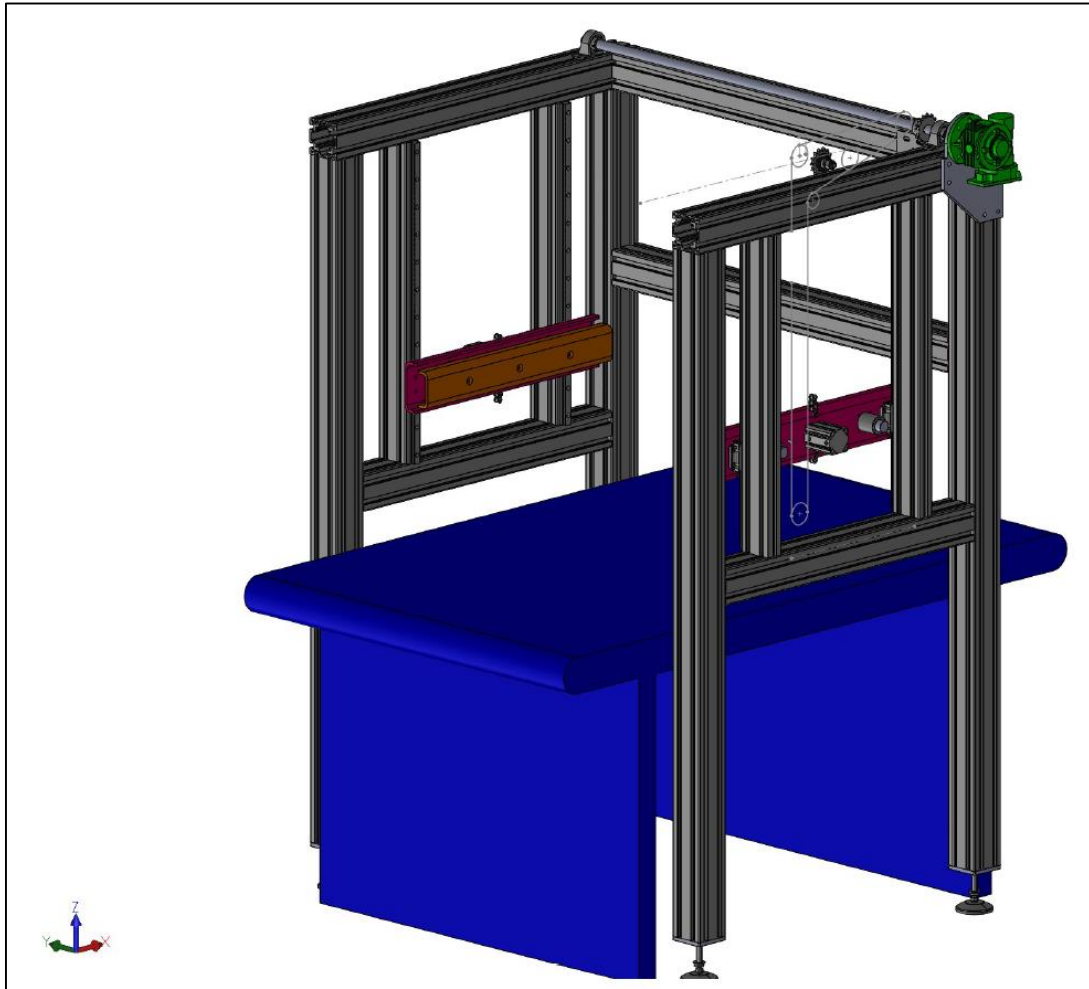


Figura 38. Detalle sistema desapilador de contenedores

4.4.1.1 Listado inicial de componentes hardware necesarios

Dentro del listado inicial con los componentes necesarios para la implementación mecánica de dicha célula se han propuesto los siguientes materiales:

- *Camino de rodillos motorizados (uno de ellos con balanza de pesado incorporada para el conteo por peso de la cantidad de artículos en el interior del contenedor)*
- *Lectores de Códigos de Barras (para identificar contenedor y OrdenTrabajo/PedidoCompra)*
- *Sistema de movimiento vertical conformado por cilindros neumáticos de doble accionamiento para el apriete, válvulas neumáticas, motor eléctrico y sistema de cadenas la conversión de movimiento circular en lineal)*
- *Sensores laser de presencia de contenedores.*

Debido a retardos dentro del proyecto global, la instalación y puesta en marcha del sistema desapilador está prevista a realizarse en los próximos meses. Por lo que el próximo paso a consiste a que en conjunto con el Departamento de Mecánica y Mantenimiento se seleccionen los modelos más adecuados de cada material, para luego contactar a los proveedores y proceder con el proceso de instalación mecánica (incorporada en trabajos a futuro, Sección 6.1).

4.4.2 Programación de autómatas Beckhoff

La automatización de las células anteriores se lleva a cabo utilizando un PLC *Beckhoff CX8090*, junto con su correspondiente módulo de entradas/salidas digitales. Como herramienta central de configuración *TwinCAT System Manager* y *TwinCAT PLC Control* como entorno de desarrollo y programación del PLC.

Como paso previo a la programación de dicho PLC, a pesar de que la instalación a automatizar no es de gran complejidad, se optó por realizar la etapa de análisis y modelado mediante la guía *GEMMA* para una mejor coordinación y flexibilidad del programa a desarrollar. Una vez finalizada la misma, si se procede al diseño del programa y la simulación del mismo⁶.

En esta sección se brindará un enfoque sobre el análisis y modelado del proceso, la parte de programación y simulación del PLC se encuentra detallada dentro del documento “*4.ManualProgramador_PLC_TFM.pdf*”

4.4.2.1 Análisis y modelado del proceso mediante la guía GEMMA

Como se ha anticipado, para la etapa de análisis y modelado de la solución se utilizará la estrategia de modelado de sistemas de automatización mediante *Gemma-Grafcet*. En primer lugar, se dividirá el funcionamiento total en distintos subsistemas. Cada uno de los mismos asociados a los diferentes modos de funcionamiento y a las distintas estaciones que forman parte de la instalación.

Se utilizará coordinación jerarquizada para la correcta sincronización de los distintos subsistemas. Existiendo un grafcet director y un grafcet coordinador que representen el comportamiento de la guía GEMMA diseñada y varios grafcet subordinados que complementen el funcionamiento total.

4.4.2.2 Guía GEMMA

Partiendo de una estructura general de una guía GEMMA (Figura 39 y Figura 40), se determinan cada uno de los estados de parada, funcionamiento y error que serán utilizados para nuestra solución.

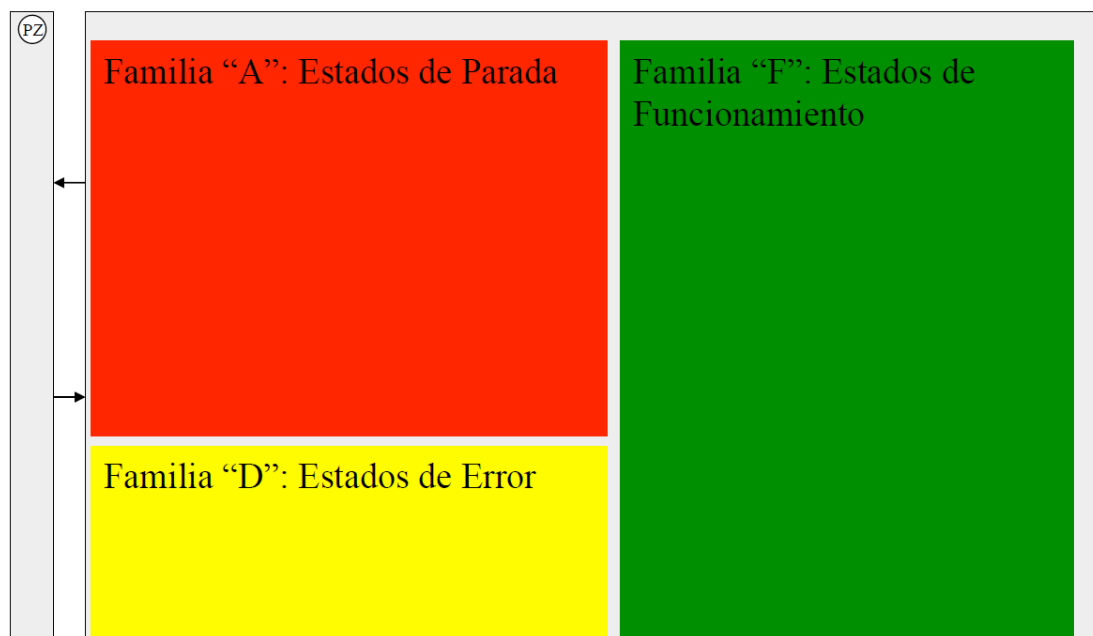


Figura 39: Estructura general Guía Gemma

⁶ La instalación y puesta en marcha del sistema está prevista para finalizarse en los próximos meses.

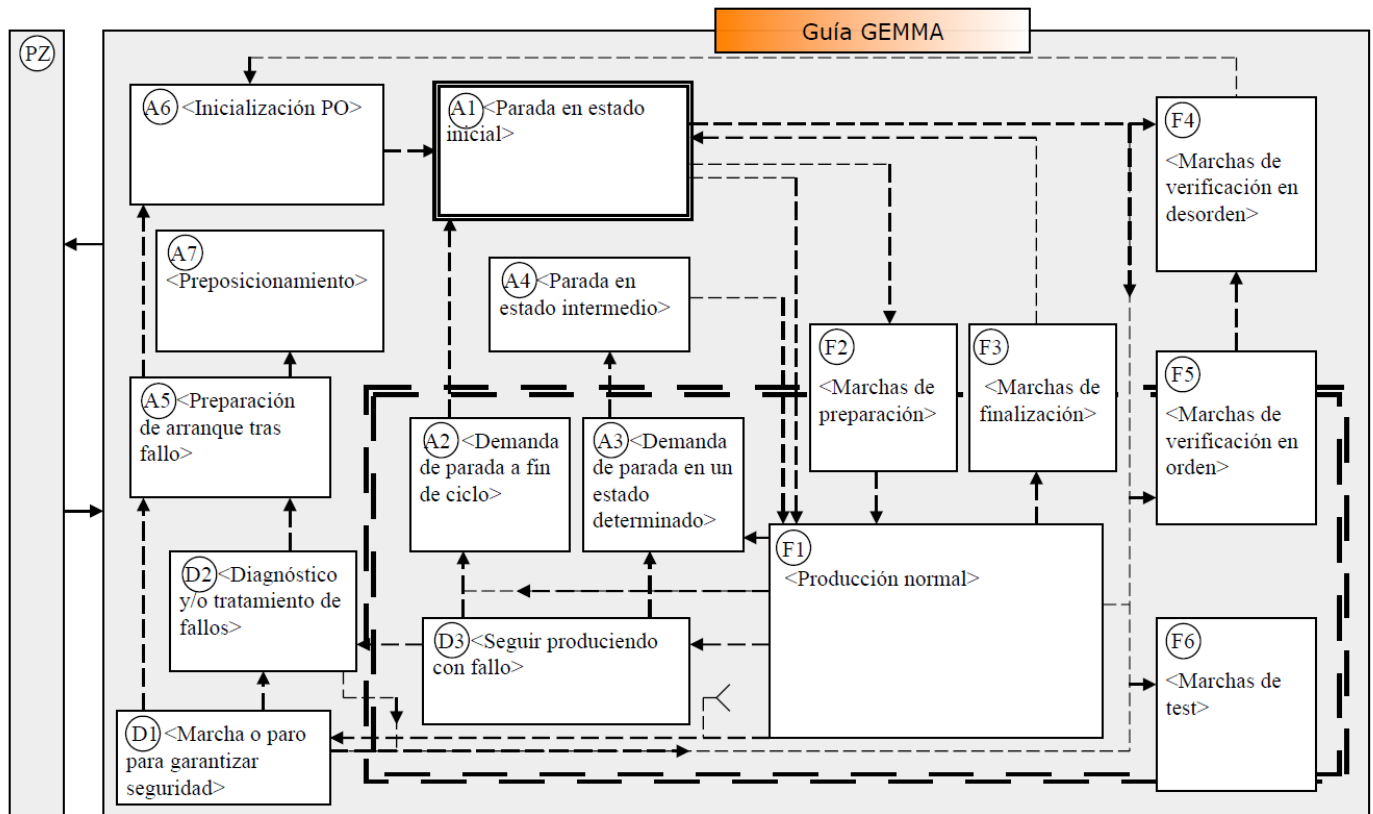


Figura 40: Guía GEMMA

4.4.2.3 Familia “A”: Estados de Parada

Dentro de esta familia, utilizaremos los siguientes estados de parada:

- A1. Parada en estado inicial: sistema en condiciones iniciales y listo para el inicio del funcionamiento.
- A4. Preparación de arranque tras fallo.
- A5. Inicialización Parte Operativa (PO).

4.4.2.4 Familia “D”: Estados de Error

Dentro de esta familia, utilizaremos los siguientes estados de error:

- D1. Marcha o paro para garantizar seguridad: Asociado a la parada de emergencia del sistema. Este estado se puede activar desde cualquier otro y para volver a funcionamiento se debe realizar la secuencia de preparación de arranque tras fallo e inicialización de la parte operativa.
- D2. Diagnóstico o tratamiento de fallo: Asociado a otros errores de funcionamiento en los cuales luego de solucionar los mismos, presionando el pulsador en la pantalla HMI *Acuse_alarma*, el sistema continuará funcionando desde el estado donde se encontraba antes del fallo.

4.4.2.5 Familia “F”: Estados de Funcionamiento

- F1. Producción Normal: Asociado al estado de funcionamiento automático del sistema.
- F2. Marcha de Preparación: Acciones necesarias para el inicio del funcionamiento en modo automático.
- F3. Marcha de Finalización: Acciones necesarias al finalizar el funcionamiento en modo automático.
- F4. Marcha de verificación en desorden: Asociado al estado de Mantenimiento del sistema.
- F5. Marcha de verificación en orden: Asociado al estado de funcionamiento manual del sistema.

Por lo detallado anteriormente, la guía GDMMA que utilizaremos para el modelado de funcionamiento será la siguiente:

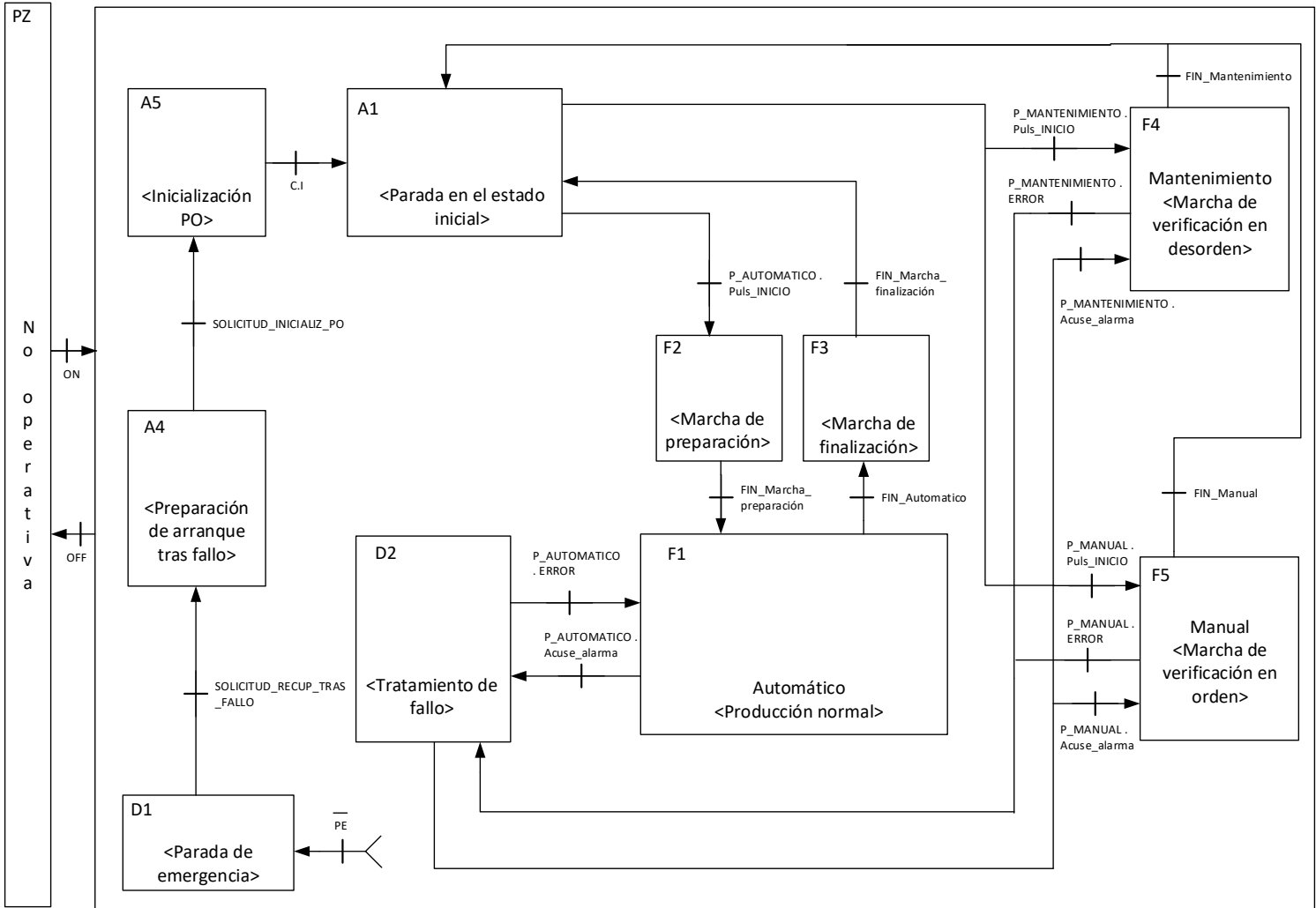


Figura 41 Guía GDMMA diseñada

4.4.2.6 Implementación en TWINCAT utilizando SFC

Como comentamos anteriormente la implementación de cada uno de los *SFC* implementados dentro del programa general se encuentran en el “4.ManualProgramador_PLC_TFM.pdf” en donde se ilustra tanto cada uno de los programas como la simulación del funcionamiento automatizado. A continuación, se brindan algunas ilustraciones en las Figura 42 y Figura 43.

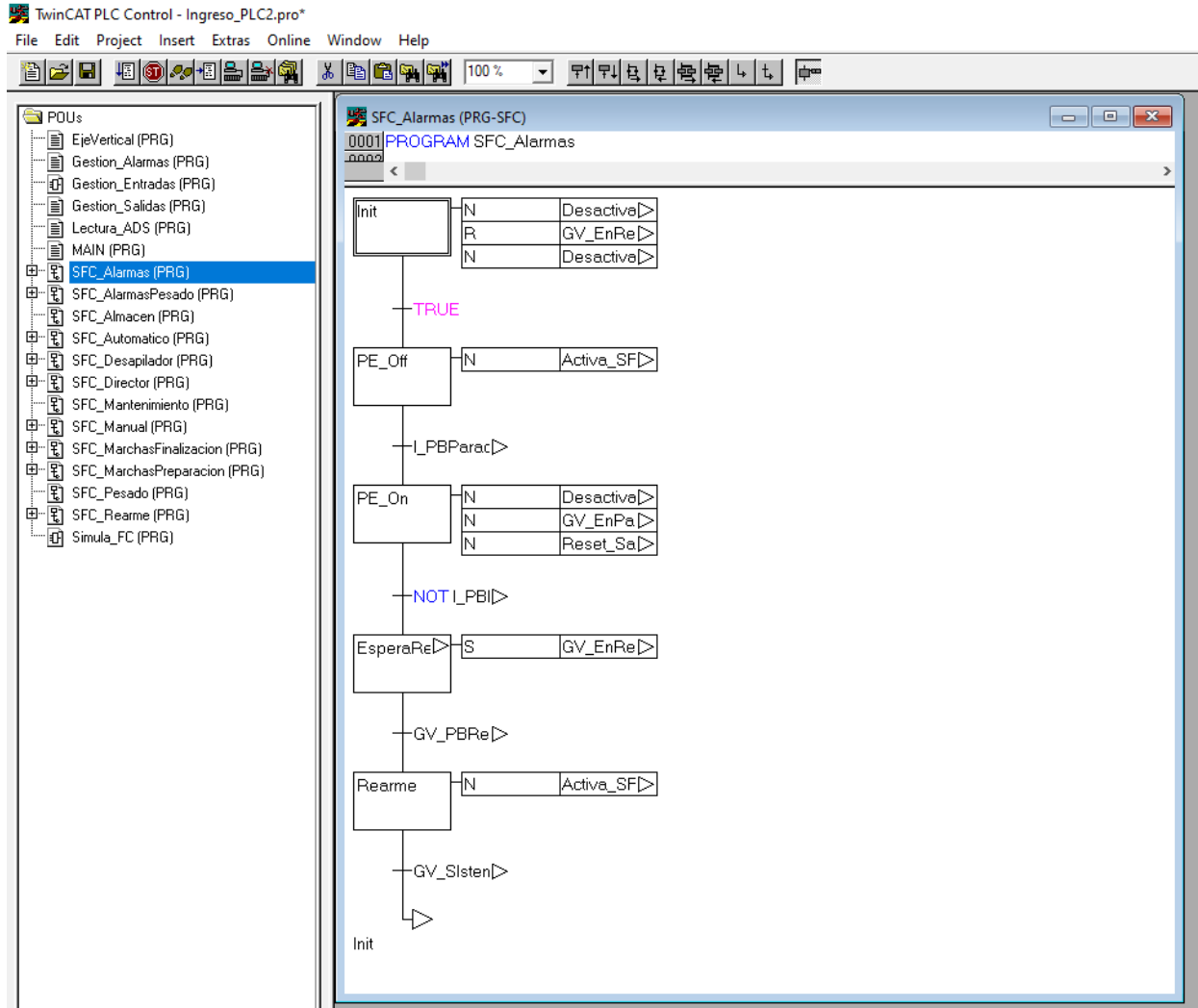


Figura 42. Implementación SFC Alarmas en TwinCAT PLC Control

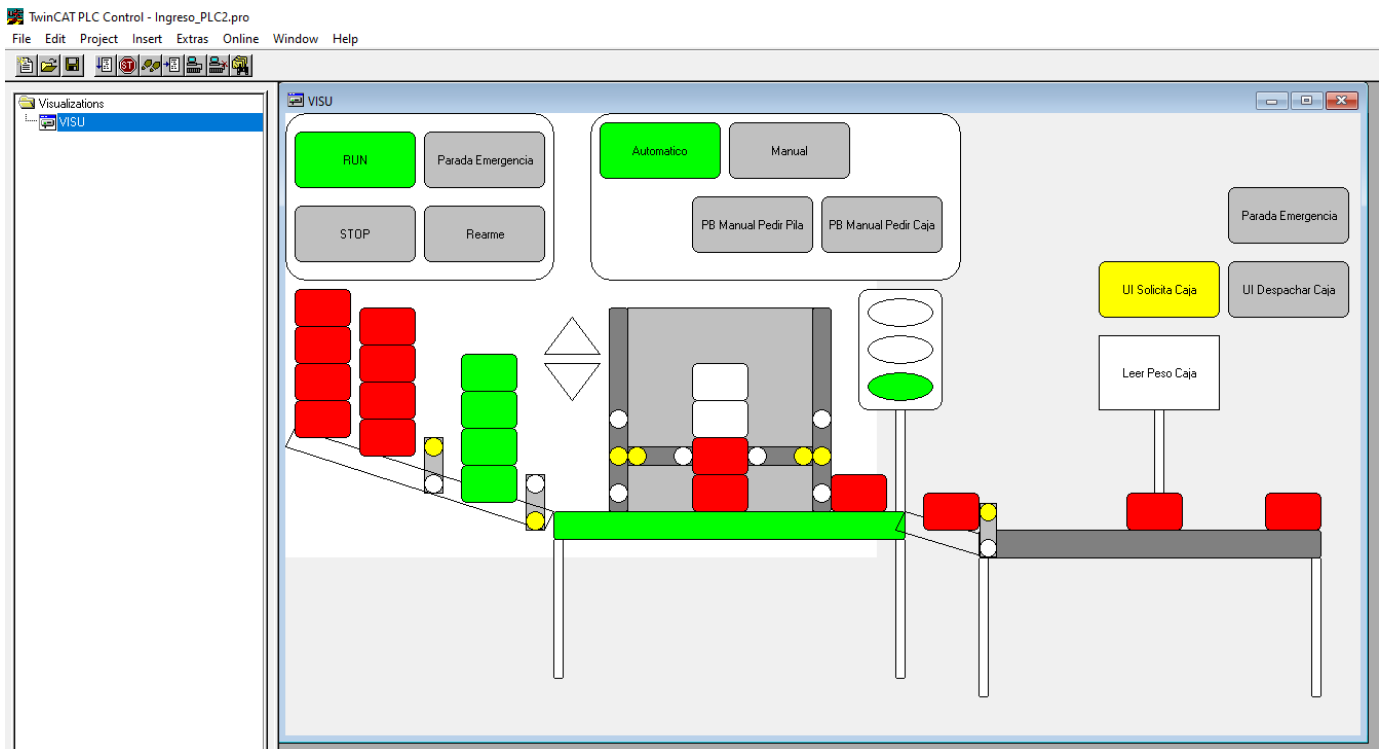


Figura 43. Simulación del programa

4.4.3 Programación de software interfaz de usuario para el ingreso de nuevo material

En la sección precedente se realizará un enfoque del funcionamiento global de la misma pero el detalle tanto su funcionalidad como su programación son brindados en sus respectivas secciones dentro de los documentos “2.ManualUsuario_UI_TFM.pdf y 3.ManualProgramador_UI_TFM.pdf”.

El funcionamiento de la interfaz se puede dividir según el origen del material a ingresar al *Miniload*:

- **Producción:** Material proveniente de producción propia de la empresa. En este caso el objetivo es almacenar contenedores con componentes o artículos que han sido producidos dentro de *Normagrup*. Previo al aviso de ingreso del contenedor, se debe leer correctamente el código de barras (Figura 45) asociado al lote producido: artículo, fecha de producción, orden de trabajo, cantidad, etc.
- **Compras:** Insumos provenientes de proveedores. Contrario al caso anterior, los componentes provenientes de los diferentes proveedores se deben en primer lugar almacenar en contenedores del almacén previamente vacíos y buscar el pedido de compra dentro de la lista de pedidos de compra activos (ya sea filtrando por número de pedido como por el nombre de proveedor).

4.4.3.1 Funcionamiento del software para material de Producción Propia

Una vez seleccionada la pestaña de *Compras*, el próximo paso a seguir es seleccionar el *Centro de Trabajo* y buscar la *Orden de Trabajo* en la que se produjo el material a ingresar al almacén dentro del listado obtenido mediante consulta *SQL* y arrastrar dicha orden al cuadro central de la interfaz. El siguiente paso es determinar la cantidad a introducir en cada contenedor o realizar dicho conteo mediante la báscula (dividiendo el peso total por el peso bruto unitario del componente consultado por *SQL*). Lo último previo al envío del contenedor (Figura 44), es seleccionar el método de traslado entre:

- **AGV:** tipo de traslado automático, en el cual se envía la petición de *Recogida de Caja (RCL)* mediante el fichero *XML* indicando el código del contenedor, el artículo a enviar junto con su cantidad, lote y atributos logísticos, además la ubicación a donde se debe recoger el contenedor.
- **Manual:** tipo de traslado manual, en el cual se envía el preaviso de ingreso de contenedores (*ASN*) mediante un fichero *XML* indicando los mismos datos que el caso anterior, exceptuando la ubicación.

Vale aclarar que el proceso que comienza desde la selección de la *Orden de Trabajo* hasta la selección de la cantidad se puede realizar directamente mediante la obtención del código de barras de la etiqueta asociada al lote de producción (Figura 45). De esta manera se completan automáticamente los datos relacionados al artículo, cantidad, atributos logísticos y centro de trabajo asociado, transformando el proceso de ingreso de material en casi totalmente automático, dejando solo de modo manual la selección del tipo de traslado y la confirmación de envío.

Compras / Produccion

Produccion *** Ver Lista Centros

CentroTrabajoActual	DescripcionCentroActual
354	Máquina de inyectar

Listado Ordenes Trabajo

OT	Articulo	Descripcion	Cantidad	Fecha
17924	SP320	Reflector Elit Mini	50	25/06/2019
32007	SP322	Grapa Linea	8	31/10/2019
8739	SP150222	TECLA PULSADOR TARI.DECOR	40000	06/03/2020
8740	SP150223	MARCO TECLA PULSA.TARIET.	40000	06/03/2020
8809	SP449	Ctp Fjación Pictograma	25000	06/03/2020
9274	SP150222	TECLA PULSADOR TARI.DECOR	40000	11/03/2020
9276	SP150223	MARCO TECLA PULSA.TARIET.	20000	11/03/2020
9762	SP214	Tapabornas Smart	2000	16/03/2020

OTs/Pedidos a Ingresar Origen: Produccion

Pedido/OT	Articulo	Descripcion	Cantidad	CantRecibida	CantPorCaja	Peso Und (g)	Calidad	Albaran

Borrar Seleccionados Comentarios Sugerencia Cajas Necesarias: 1 Solicitar Albaran

Conteo/Pesado Artículo a Introducir

Articulo	Descripcion	Cantidad

Calibrar Borrar Seleccionados Agregar Artículo

Cantidad Sugerida por Caja: Porcentaje Peso Total Articulos: Porcentaje

Contenedor Actual CO00002 **Tipo Contenedor** CajaTipo02

Articulo	Descripcion	Cantidad	Lote
SP150222	TECLA PULSADOR TARI.DECOR	A calcular	202009274

Borrar Seleccionados Borrar Todo

Tipo traslado hacia Almacen

AGV	Manual
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Enviar Contenedor

Ver MQTT Messages MQTT: *** 16/03/2020 12:18:14 [Meculux] Nueva Subscripcion: *** *** 16/03/2020, 12:18:14 [Meculux] [articulo:'05EL340B']; ***

Normagrup RESEÑA SALIR

Hora Actual: 16/03/2020, 12:18:35

Ultimos Avisos Enviados

CO00000 RCL

Buffer Recogida: L03P01R
Hora Pedido: 16/03/2020 07:40

Articulo	Cantidad
05EL340B	A calcular

CO00001 RCL

Buffer Recogida: L03P01R
Hora Pedido: 16/03/2020 11:32

Articulo	Cantidad
SP449	A calcular


Figura 44. Interfaz Ingreso: Pestaña Producción

NORMAGRUP TECHNOLOGY, S.A.

Registro de la Calidad

Fabricación de (Aporte Materiales)

RC-08-F0103162 Ed. 3 Pág. 1



OT2020001340

Ejercicio: **2020** O.T.: **1340** Línea:

Código Artículo: **05EL340B** Fórmula: **1** Unidades a Fabricar: **300,00**
 Descripción: Flujo: **2850 lm** Bateria:

Observaciones

Ya montado con LED SAMSUNG 09-07-18 Alimentado a 500 mA

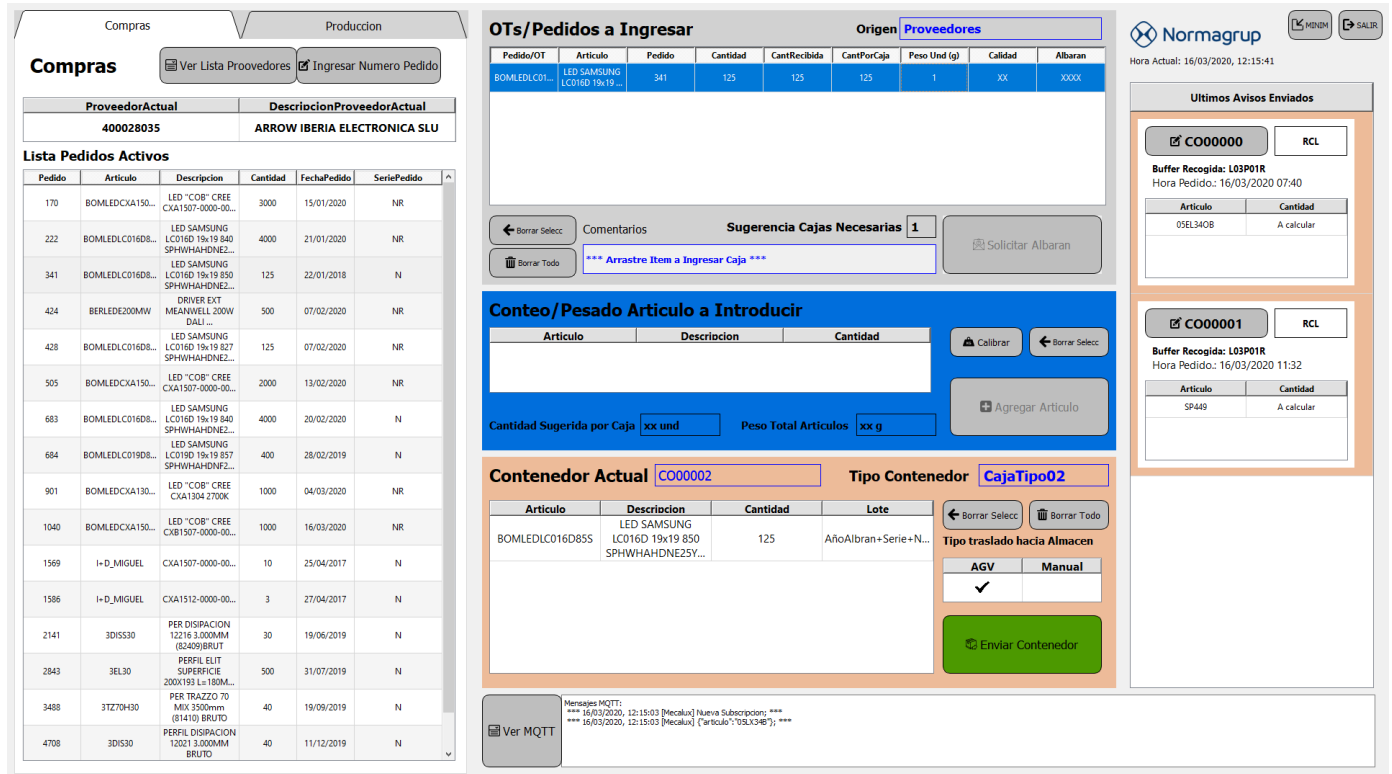
Lista de Materiales

Alm.	Cant.	Ver.	ID	Form	Producto	Formato	Referencia	Nivel	Nº entr.	Camb
	0,00		10PTERMICA		7363910 THERMAL COMPOUND 52054 60ZC 400G WH					
	1,00		BELED21500VKIT	1	DRIVER VOSSL0H 21W 500MA 186592 KIT MONTAJE	DRIVER VOSSL0H 21W 500MA KIT				
	1,00		BOMLEDLC016D845		LED SAMSUNG LC016D 19x19 840 SPHWHAHDNE25YT3D2			CR		
	1,00		EMBEL		EMBALAJE ELIT	EMBALAJE ELIT				
	1,00		ETIMONEL		HOJAS DE INSTRUCCIONES ELIT TODO EN 1	HOJAS DE INSTRUCCIONES ELIT TODO EN 1				
	2,00		NULO05		COMPONEN NULO PARA RESERV ELEM EN ESTRUC	COMPONEN NULO PARA RESERV ELEM EN ESTRUC				
	1,00		PORLAMELKIT	1	PORTALAMP ELIT+CONECTORES+CABLES+FUNDA (0005-A)	PORTALAMPARAS ELIT KIT				
	1,00		SF000055	1	CHASIS DISIPADOR DOWN ELIT (0000) NEGRO TEXT					
	1,00		SF000150	1	ARO DOWN ELIT (0001) BLANCO TEXT	ARO DOWN ELIT BLANCO				
	2,00		SMUEE	1	SUBCONJ. MUELLE ELIT + CUBREMUELLES	SUBCONJ. MUELLE ELIT + CUBREMUELLES				
	1,00		SP315		Reflector Elit grande	Normalit				
	1,00		SP335		Prensacables Hat	Normalit				
	5,00		TOR79812908FP		DIN 7981-F TOR. C/ALOMADA 2,9x8 NEGRO					
	1,00		W10CRIS192OPAL		CRISTAL OPAL 193 +0/- 1 mm (82008-C/R2)	CRISTAL OPAL 193 +0/- 1 mm (82008-C/R2)				

Figura 45. Ejemplo Orden de Trabajo y su código de barras

4.4.3.2 Funcionamiento del software para material de Proveedores

El funcionamiento de esta pestaña *Proveedores*, es análogo al de *Producción*, donde en primer lugar se debe seleccionar el nombre del proveedor y la *Orden de Compra* correspondiente asociado al material que se desea ingresar al almacén. Arrastrando dicha *Orden de Compra* al centro de la interfaz (Figura 46), se debe determinar la cantidad del artículo a ingresar (o utilizar la báscula mediante el peso unitario). Una diferencia para marcar es que, en este caso, se debe generar un número de *Albarán* para el artículo, necesario por el software *SAGE* para su trazabilidad.



The screenshot shows the 'Compras' (Purchases) interface. On the left, there's a 'Lista Pedidos Activos' (Active Orders List) with columns for 'Pedido', 'Artículo', 'Descripción', 'Cantidad', 'Fecha Pedido', and 'Serie Pedido'. The main area is divided into several sections: 'OTs/Pedidos a Ingresar' (Orders/Orders to be entered) with a table showing 'Pedido/OT', 'Artículo', 'Pedido', 'Cantidad', 'CantRecibida', 'CantPorCaja', 'Peso Und (g)', 'Calidad', and 'Albaran'; 'Conteo/Pesado Artículo a Introducir' (Counting/Weighing article to be introduced) with a table for 'Artículo', 'Descripción', and 'Cantidad'; and 'Contenedor Actual' (Current Container) with a table for 'Artículo', 'Descripción', 'Cantidad', and 'Lote'. There are also buttons for 'Agregar Artículo', 'Enviar Contenedor', and 'Ver MQTT'.

Figura 46. Interfaz Ingreso: Pestaña Compras

El proceso de selección del método de traslado y el proceso de lectura del código de barras del contenedor es igual al caso de *Producción*. La tercera sección de la interfaz se utiliza como *Buffer* de todos los mensajes enviados anteriormente (ya sean *RCL* y *ASN*). Actualizando en tiempo real el estado de los pedidos y permitiendo la cancelación de pedidos que están en trámite.

4.4.3.3 Comunicación con el almacén (ficheros XML)

A continuación, se detalla el intercambio de mensajes *XML* entre la interfaz de ingreso (*ERP*) y el almacén (*Easy WMS*) junto con ejemplos generados de órdenes de llegada de contenedores junto con sus respectivas respuestas de confirmación o errores, durante el proceso de suministro de material. La Figura 47, Figura 48 y Figura 49 brindan ejemplos de mensajes de creación y recepción de un preaviso de llegada de contenedor mientras que en la Figura 50 y Figura 51 se ejemplifica las notificaciones de un posible mensaje de error en dicho proceso.

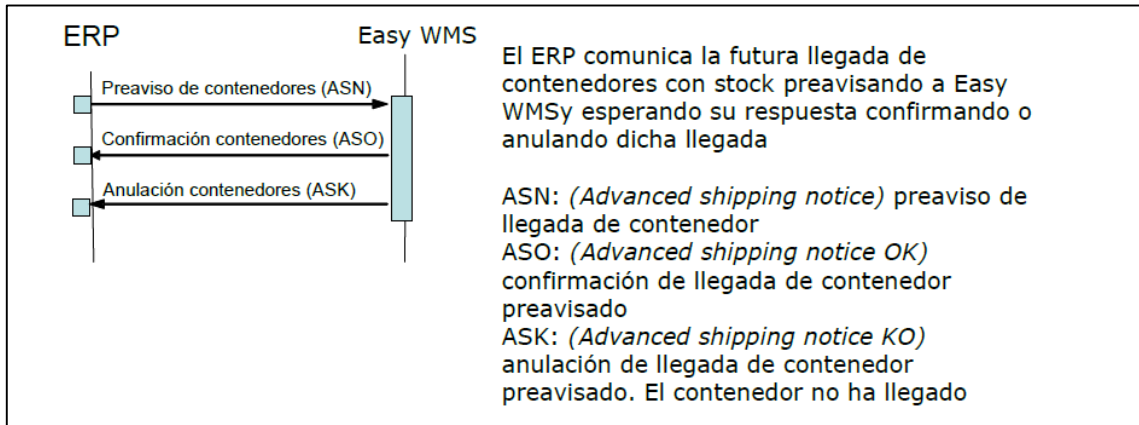


Figura 47. Intercambio Mensajes ASN

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <RecogerCajas xmlns="urn:wms-schema">
  - <RecogerCaja ignoreNull="false">
    <Operation>C</Operation>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <ContainerCode>CO00201</ContainerCode>
    <ContainerType>Eurobox01</ContainerType>
    <LocationCode>L03P01R</LocationCode>
  - <Lines transactional="true" complete="true">
    - <Line>
      <Operation>C</Operation>
      <LneItemCode>05LX34DB</LneItemCode>
      <LneOwnerCode>NORMAGRUP</LneOwnerCode>
      <LneQuantity>-1</LneQuantity>
      <LneUoMCode>UND</LneUoMCode>
    - <LneAttributes>
      <LneAttLot>202006020</LneAttLot>
      <LneAttProdDate>2020-03-02T13:20:56Z</LneAttProdDate>
      <LneAttVersion>1</LneAttVersion>
    </LneAttributes>
    </Line>
  </Lines>
  - <CustomAttributes>
    <CstAtt01>Pesar</CstAtt01>
  </CustomAttributes>
</RecogerCaja>
</RecogerCajas>
```

Figura 48. Ejemplo Mensaje RCL

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <RecogerCajaProduccionOks xmlns="urn:wms-schema">
  - <RecogerCajaProduccionOk>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <ContainerCode>CO00013</ContainerCode>
    <ContainerType>CajaTipo02</ContainerType>
    <Height>0.42</Height>
    <Weight>27.663</Weight>
    <Volume>0</Volume>
  - <Lines>
    - <Line>
      <LneItemCode>SP409</LneItemCode>
      <LneOwnerCode>NORMAGRUP</LneOwnerCode>
      <LneQuantity>165</LneQuantity>
      <LneUoMCode>UND</LneUoMCode>
      <LneWeight>20.8725</LneWeight>
      - <LneAttributes>
        <StockAttLot>202007586</StockAttLot>
        <StockAttVersion>1</StockAttVersion>
        <StockAttProdDate>2020-03-19T00:00:00Z</StockAttProdDate>
      </LneAttributes>
    </Line>
  </Lines>
  - <CustomAttributes>
    <CstAtt01>Pesar</CstAtt01>
  </CustomAttributes>
  <ReceptionDate>2020-03-19T09:15:26Z</ReceptionDate>
</RecogerCajaProduccionOk>
</RecogerCajaProduccionOks>
  
```

Figura 49. Ejemplo Mensaje RCO

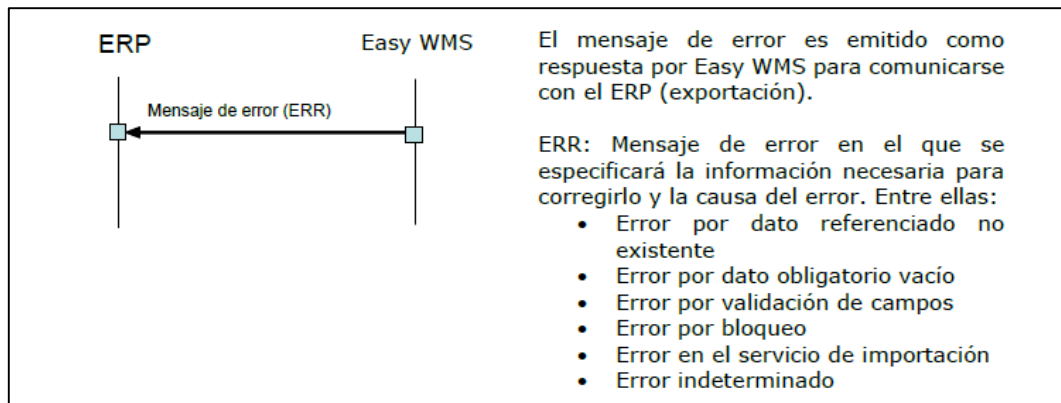


Figura 50. Envío mensajes Error

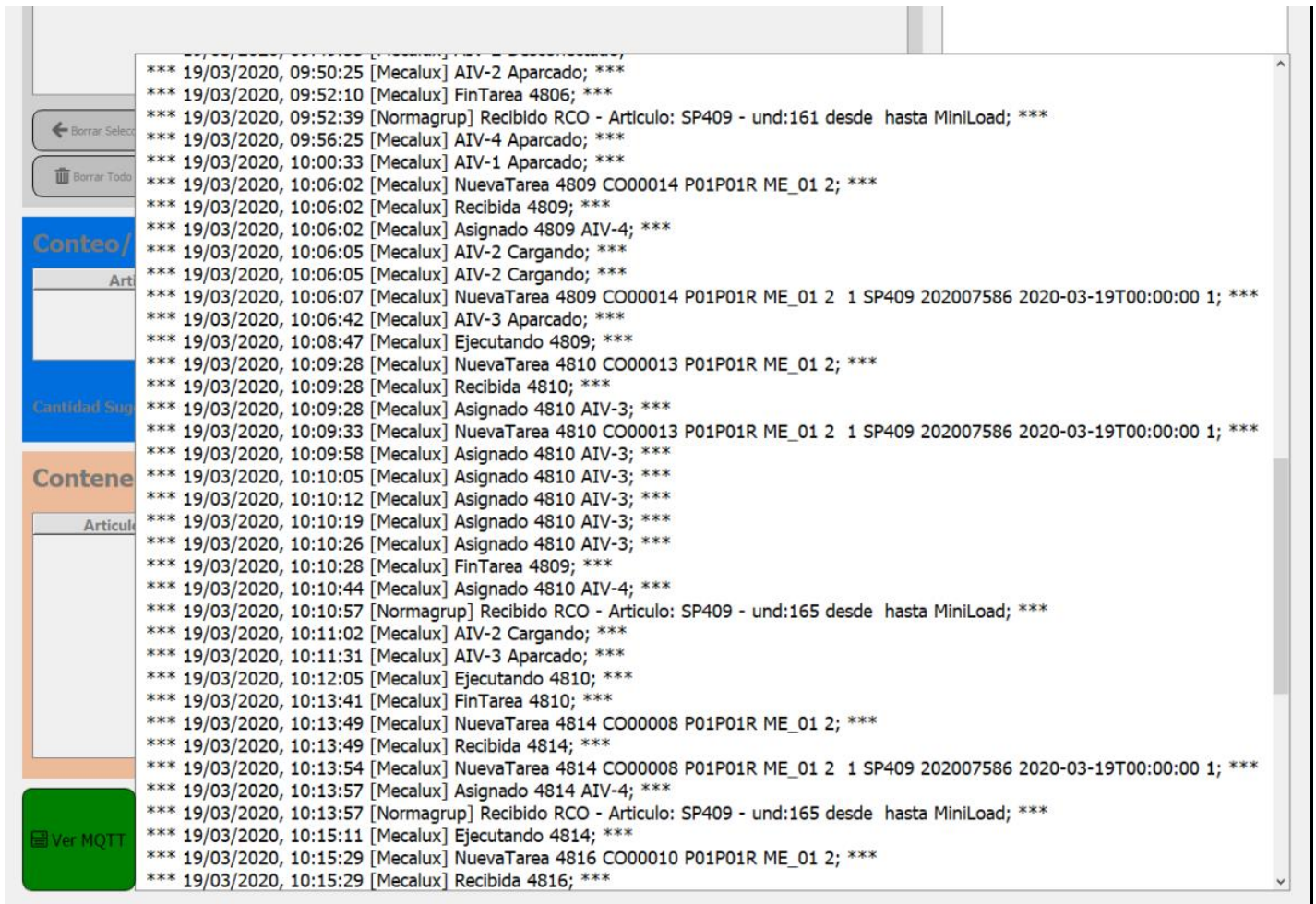
```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <Errors xmlns="urn:wms-schema">
  - <Error>
    <Site>NORMAGRUP</Site>
    <MsgType>RCL01</MsgType>
    <Batch>RCL0120200316055755000.xml</Batch>
  - <NestedErrors>
    - <NestedError>
      <ErrDesc>Container Type code Eurobox02 does not exist</ErrDesc>
      <ErrException>Error sending command [ContainerCreateOnLocationCommand] Option: C Code: CO00211 Site: NORMAGRUP</ErrException>
      <ErrDate>2020-03-16T06:00:29Z</ErrDate>
    </NestedError>
  </NestedErrors>
</Error>
</Errors>
  
```

Figura 51. Ejemplo mensaje Error

4.4.4 Actualización del estado de la solicitud mediante la captura de los mensajes MQTT

Como se ha introducido cada una de las interfaces de ingreso implementadas se suscribe a diferentes *tópicos* del *bróker* MQTT, con el objetivo de contar con un seguimiento del estado de la entrega de entrega: creación de una nueva tarea de ingreso, actualización del estado de dicha tarea, etc. En la Figura 52 se observan distintos ejemplos de mensajes MQTT obtenidos durante el proceso de ingreso automático de material al almacén.



```

*** 19/03/2020, 09:50:25 [Mecalux] AIV-2 Aparcado; ***
*** 19/03/2020, 09:52:10 [Mecalux] FinTarea 4806; ***
*** 19/03/2020, 09:52:39 [Normagrup] Recibido RCO - Artículo: SP409 - und:161 desde hasta MiniLoad; ***
*** 19/03/2020, 09:56:25 [Mecalux] AIV-4 Aparcado; ***
*** 19/03/2020, 10:00:33 [Mecalux] AIV-1 Aparcado; ***
*** 19/03/2020, 10:06:02 [Mecalux] NuevaTarea 4809 CO00014 P01P01R ME_01 2; ***
*** 19/03/2020, 10:06:02 [Mecalux] Recibida 4809; ***
*** 19/03/2020, 10:06:02 [Mecalux] Asignado 4809 AIV-4; ***
*** 19/03/2020, 10:06:05 [Mecalux] AIV-2 Cargando; ***
*** 19/03/2020, 10:06:05 [Mecalux] AIV-2 Cargando; ***
*** 19/03/2020, 10:06:07 [Mecalux] NuevaTarea 4809 CO00014 P01P01R ME_01 2 1 SP409 202007586 2020-03-19T00:00:00 1; ***
*** 19/03/2020, 10:06:42 [Mecalux] AIV-3 Aparcado; ***
*** 19/03/2020, 10:08:47 [Mecalux] Ejecutando 4809; ***
*** 19/03/2020, 10:09:28 [Mecalux] NuevaTarea 4810 CO00013 P01P01R ME_01 2; ***
*** 19/03/2020, 10:09:28 [Mecalux] Recibida 4810; ***
*** 19/03/2020, 10:09:28 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:09:33 [Mecalux] NuevaTarea 4810 CO00013 P01P01R ME_01 2 1 SP409 202007586 2020-03-19T00:00:00 1; ***
*** 19/03/2020, 10:09:58 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:10:05 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:10:12 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:10:19 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:10:26 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-3; ***
*** 19/03/2020, 10:10:28 [Mecalux] FinTarea 4809; ***
*** 19/03/2020, 10:10:44 [Mecalux] Asignado 4810 AIV-4; ***
*** 19/03/2020, 10:10:57 [Normagrup] Recibido RCO - Artículo: SP409 - und:165 desde hasta MiniLoad; ***
*** 19/03/2020, 10:11:02 [Mecalux] AIV-2 Cargando; ***
*** 19/03/2020, 10:11:31 [Mecalux] AIV-3 Aparcado; ***
*** 19/03/2020, 10:12:05 [Mecalux] Ejecutando 4810; ***
*** 19/03/2020, 10:13:41 [Mecalux] FinTarea 4810; ***
*** 19/03/2020, 10:13:49 [Mecalux] NuevaTarea 4814 CO00008 P01P01R ME_01 2; ***
*** 19/03/2020, 10:13:49 [Mecalux] Recibida 4814; ***
*** 19/03/2020, 10:13:54 [Mecalux] NuevaTarea 4814 CO00008 P01P01R ME_01 2 1 SP409 202007586 2020-03-19T00:00:00 1; ***
*** 19/03/2020, 10:13:57 [Mecalux] Asignado 4814 AIV-4; ***
*** 19/03/2020, 10:13:57 [Normagrup] Recibido RCO - Artículo: SP409 - und:165 desde hasta MiniLoad; ***
*** 19/03/2020, 10:15:11 [Mecalux] Ejecutando 4814; ***
*** 19/03/2020, 10:15:29 [Mecalux] NuevaTarea 4816 CO00010 P01P01R ME_01 2; ***
*** 19/03/2020, 10:15:29 [Mecalux] Recibida 4816; ***

```

Figura 52. Secuencia de mensajes MQTT capturados

4.4.5 Comunicación entre PLC Beckhoff y la Interfaz Usuario Ingreso diseñada

Como se puede observar dentro del “4.ManualProgramador_PLC_TFM.pdf”, para poder comunicar aplicaciones Python con dispositivos TwinCAT utilizamos la librería PyADS⁷.

Automation Device Specification (ADS) está basado en la arquitectura cliente-servidor y describe una interfaz independiente del dispositivo y del bus de campo que rige el tipo de acceso a los dispositivos. La arquitectura del sistema TwinCAT (Figura 53) permite que los módulos individuales del software (por ejemplo, TwinCAT PLC, TwinCAT NC, entre otros) sean tratados como dispositivos independientes: para cada tarea hay un módulo de software servidor o cliente. El "enrutador de mensajes" intercambia los mensajes entre estos objetos a través de una interfaz ADS consistente. El mismo gestiona y distribuye todos los mensajes en el sistema y a través de las conexiones TCP / IP que permite que todos los programas de cliente y servidor TwinCAT intercambien comandos y datos (9) (10).

⁷ Este es un contenedor de Python para la biblioteca ADS de TwinCAT que utiliza la API C proporcionada por TcAdsDll.dll en Windows.

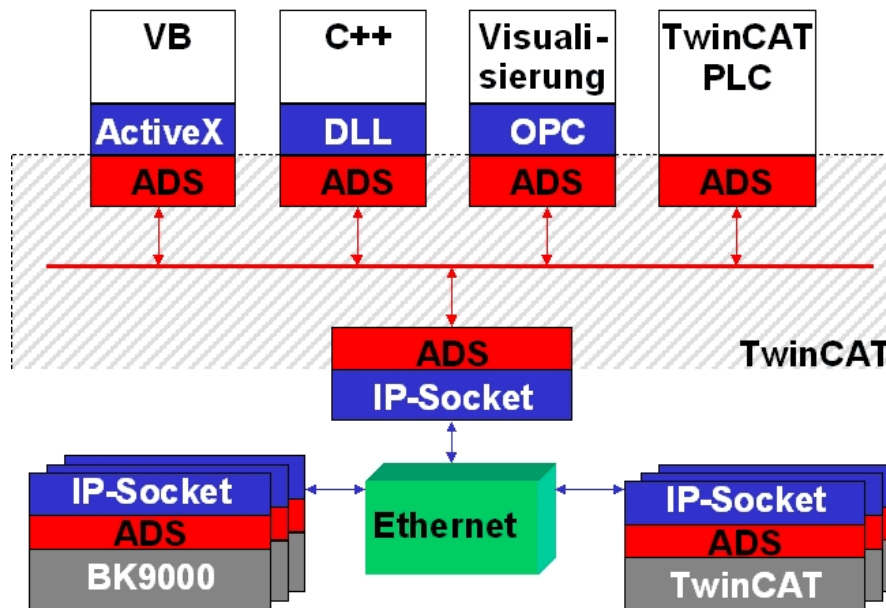


Figura 53 Comunicación ADS

Dentro de las instrucciones ADS que nos brinda PyADS se encuentran:

ADS instruction set	Description
AdsReadDeviceInfo [▶ 210]	The general device information can be read with this command.
AdsRead [▶ 212]	ADS read command for retrieving data from an ADS device.
AdsWrite [▶ 214]	ADS write command for transferring data to an ADS device.
AdsReadState [▶ 218]	ADS command to query the state of an ADS device.
AdsWriteControl [▶ 220]	ADS control command to change the state of an ADS device.
AdsAddDeviceNotification [▶ 222]	Observe variable. The client is informed in case of an event.
AdsDelDeviceNotification [▶ 224]	Removes the variable that was previously linked.
AdsDeviceNotification [▶ 226]	Used to transfer the device notification event.
AdsReadWrite [▶ 216]	ADS read/write command. Data is transmitted to an ADS device (write) and its response data read with one call.

Figura 54. Instrucciones ADS

La interfaz de Ingreso de Material, mediante la escritura de variables y el correcto tratamiento de las notificaciones es capaz de:

- Escribir en el PLC la variable correspondiente a “Solicitud de Contenedor Vacío”, que indica que el operario necesita un nuevo contenedor vacío en la estación de identificación y pesado. La misma lanza el método correspondiente a “Suministrar Contenedor”, que consiste en que el sistema desafilador separe un único contenedor de la columna de contenedores vacíos y lo traslade a la zona de la báscula.
- Escribir en el PLC la variable correspondiente a “Solicitud de despacho de Contenedor” que indica que el operario ya ha completado totalmente el contenedor y ha pulsado *Despachar*. En este caso el PLC lanza el método “Despachar Contenedor”, que consiste en desplazar dicho contenedor desde la báscula hasta el final del camino de rodillos para que el AIV (traslado automático, mensaje RCL) o el mismo usuario (traslado manual, mensaje ASN) sea el encargado de llevar el contenedor hasta la entrada correspondiente del *Miniload*.
- Capturar los eventos de notificaciones de cambio de las variables globales más importantes del proceso para notificar al operario del estado del mismo.

4.5 Flujos Node-Red: Trazabilidad, Tratamientos Ficheros y Devolución de Material

4.5.1 Flujo Trazabilidad Contenedores

El funcionamiento del flujo diseñado para la trazabilidad de material se detalla en la Figura 55, el cual consiste en recibir los mensajes *MQTT* del tópico *Trazabilidad* enviados por *Mecalux*, procesarlos y obtener la información importante dentro de los mismos para finalmente almacenar dicha información en una *BDD* y transmitirla mediante una publicación *MQTT* en el tópico correspondiente. En la Figura 56 se brinda su implementación en *Node-Red*.

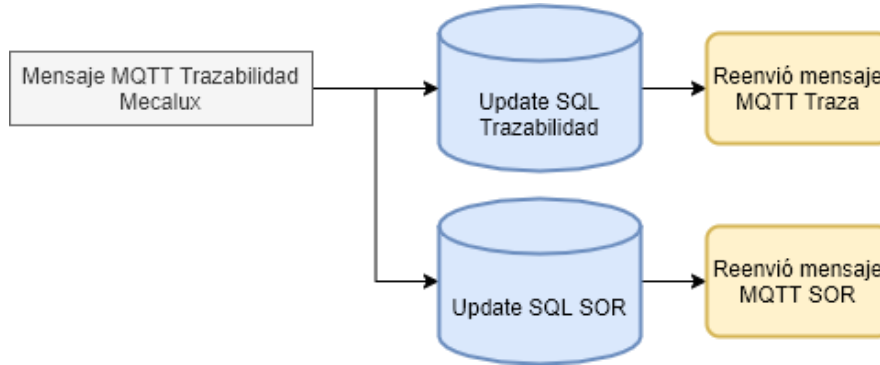


Figura 55. Flujo Trazabilidad

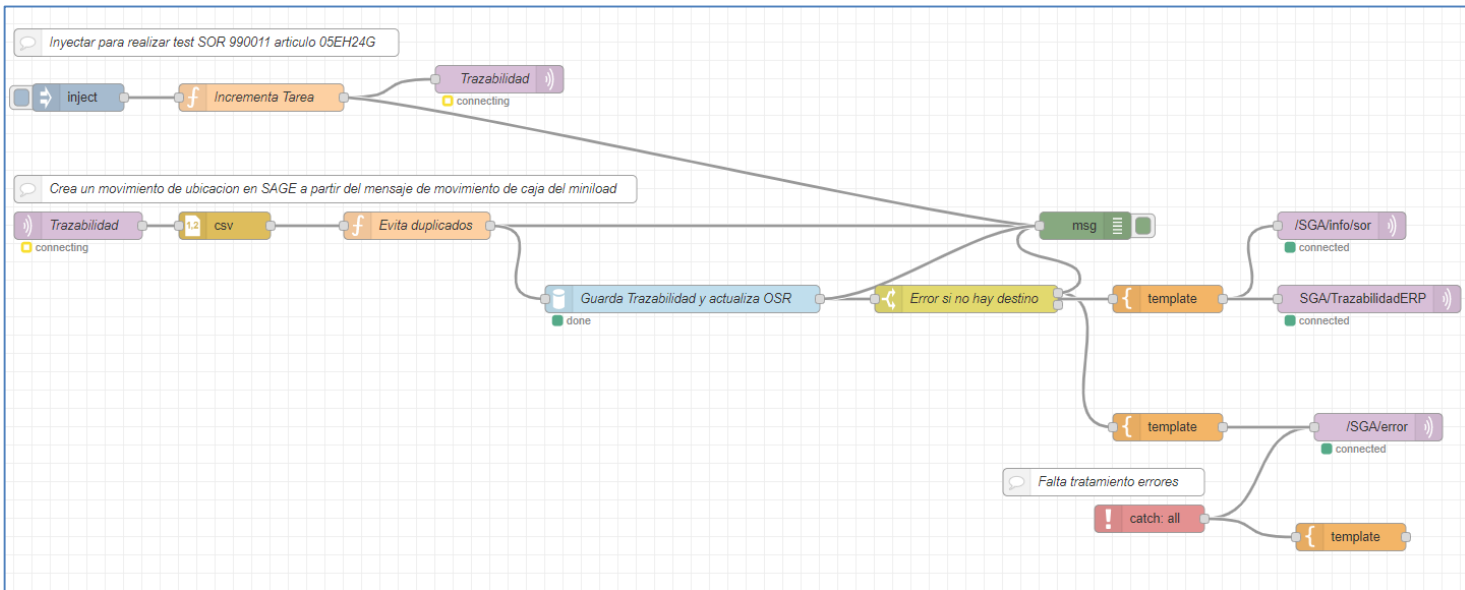


Figura 56. Flujo Node-RED Trazabilidad

4.5.2 Flujo Tratamiento Ficheros

Este flujo ha sido diseñado para procesar los distintos tipos de archivos *XML* enviados por *Mecalux*. Su funcionamiento (Figura 57) a grandes rasgos se basa en detectar cuando se crea un nuevo archivo en la carpeta compartida, procesarlo y obtener la información importante dentro del mismo, para finalmente almacenar dicha información en una *BDD* y transmitirla mediante una publicación *MQTT* en el tópico correspondiente. En la Figura 58 se brinda su implementación en *Node-Red*.

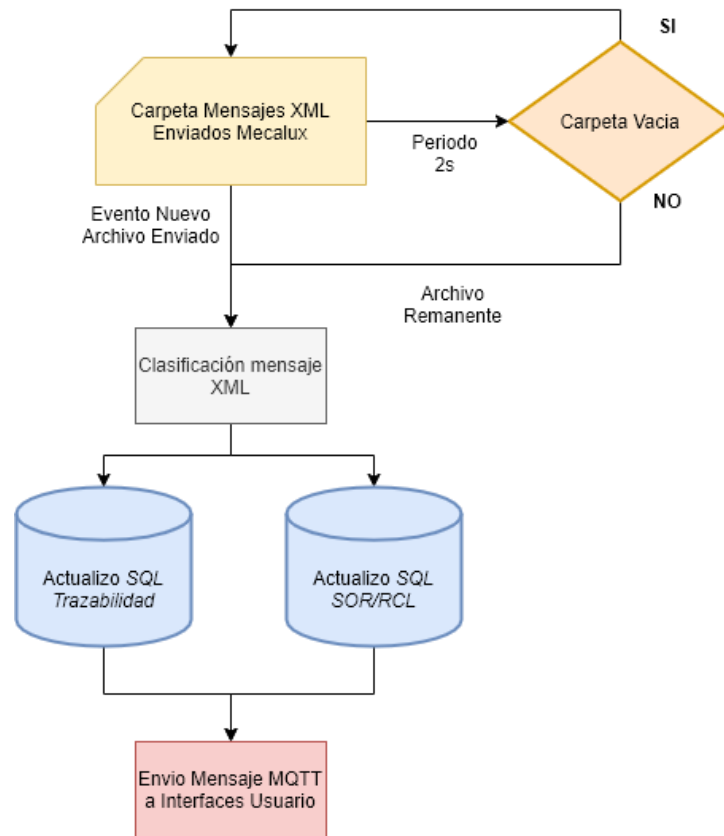


Figura 57. Flujo Tratamiento Ficheros

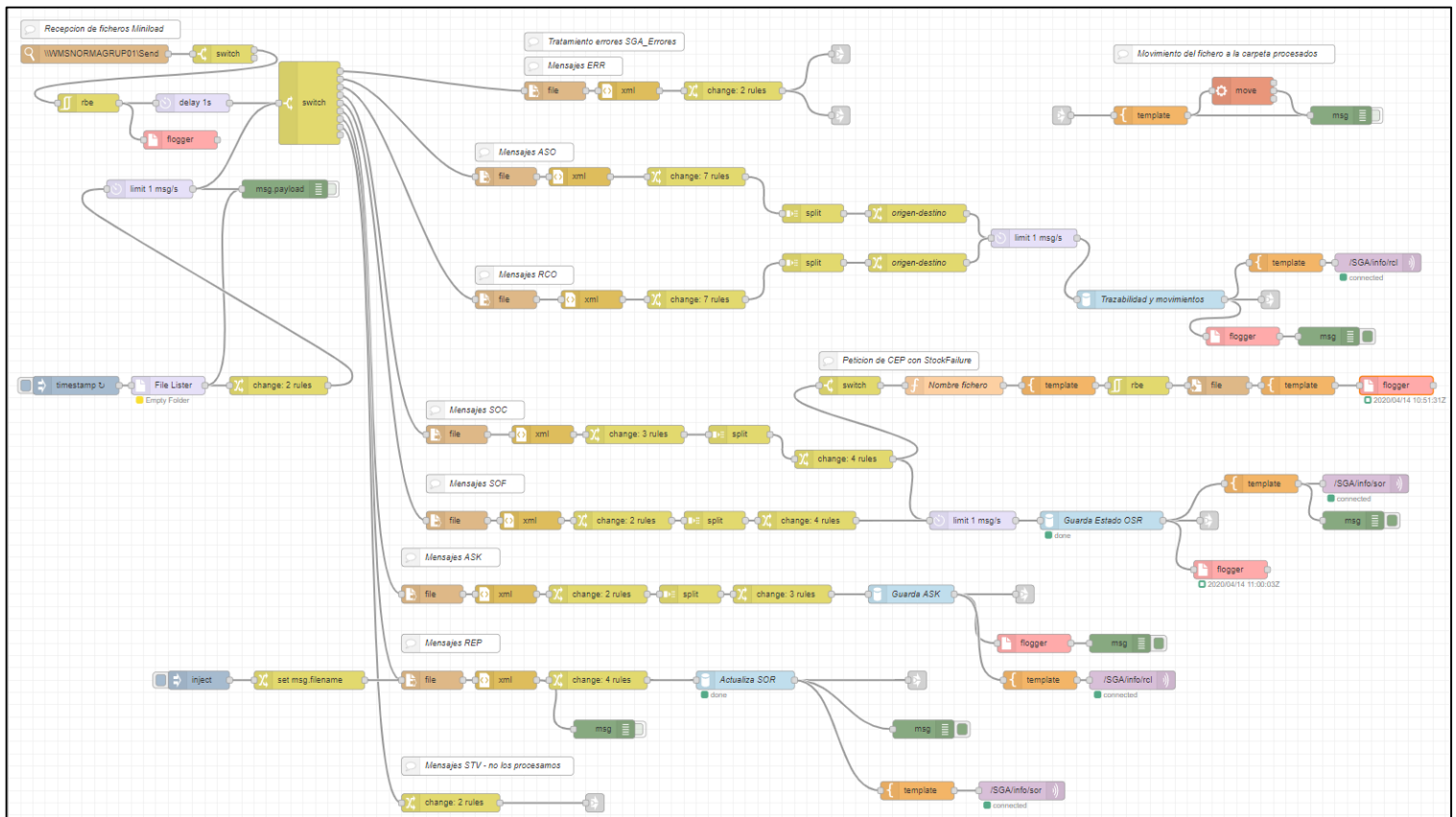


Figura 58. Flujo Node-RED Tratamiento Ficheros

4.5.3 Flujo Devoluciones de Contenedores

Para las devoluciones al *Miniload* de contenedores con material (previamente suministrados), se procedió a realizar el procedimiento de *vaciado de Buffer* (Figura 59). Para lanzar dicho procedimiento se debe cambiar el modo de funcionamiento de dicho *Buffer* de “*Modo Entrega Material*” a “*Modo Devolución Material*”, que se realiza en la pestaña de Ordenes en Proceso de la *Pantalla Producción* (Figura 20). En la Figura 60 se brinda su implementación en *Node-Red*.

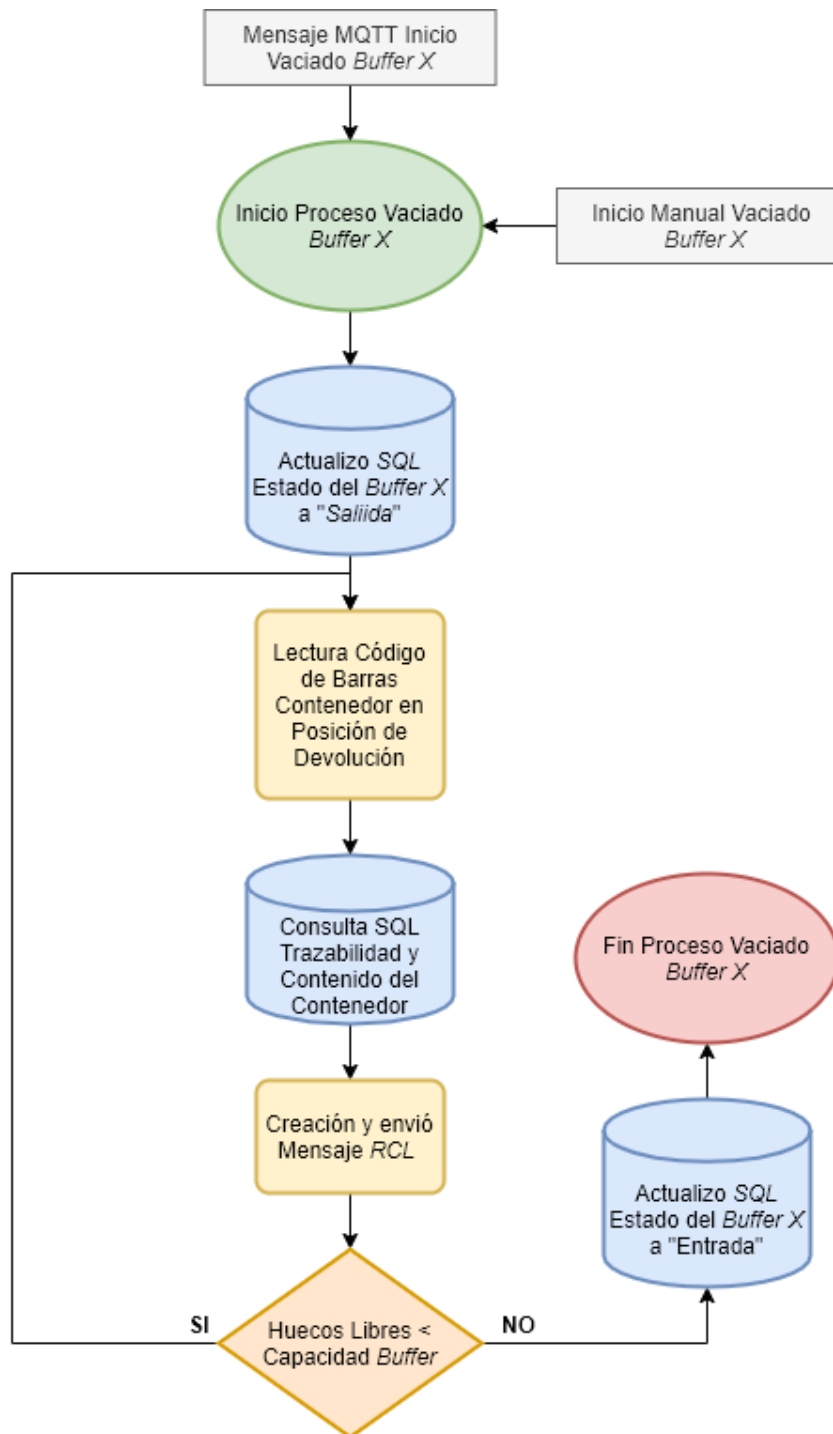


Figura 59. Procedimiento Vaciado Buffer

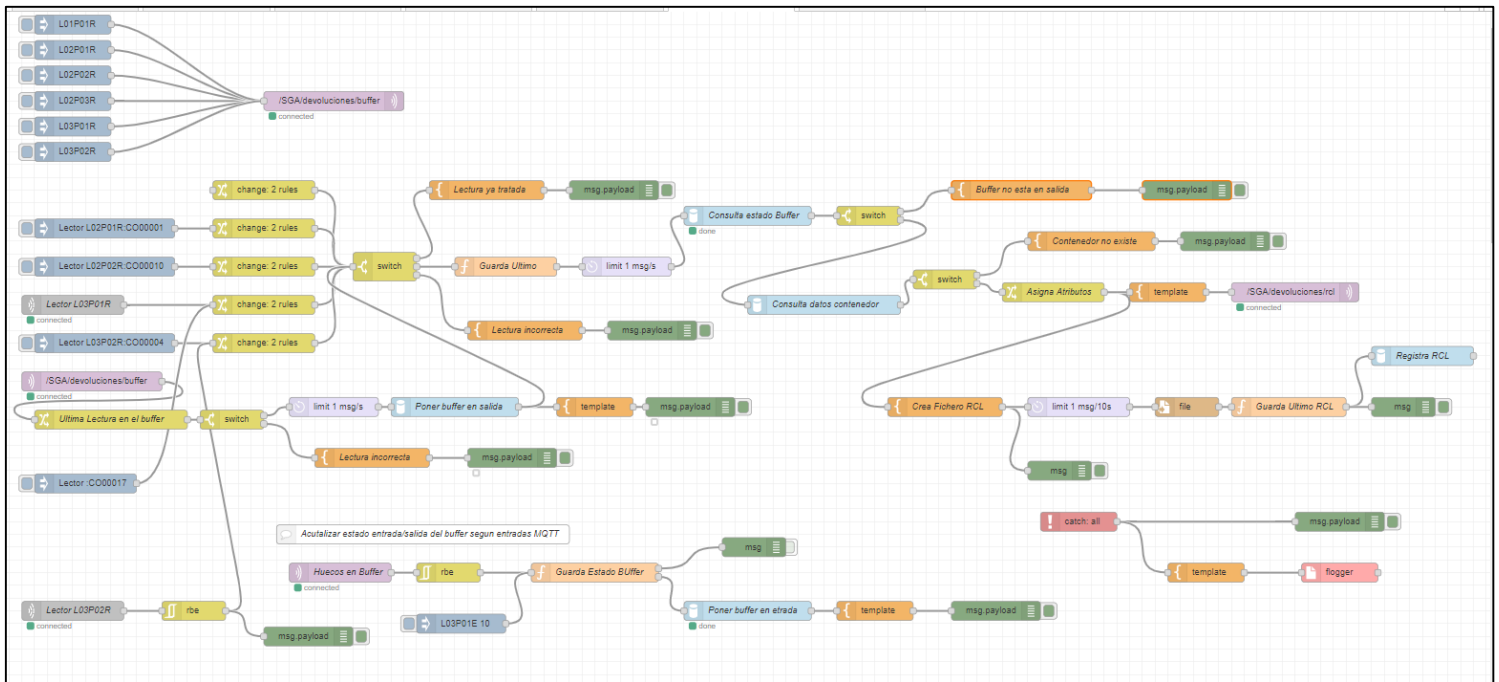


Figura 60. Flujo Node-RED Devolución Contenedores

La obtención del código de barras del contenedor a devolver al *Miniload* se realizó utilizando lectores *Datalogic DS2400N* y *Datalogic MS210N* cuyas especificaciones generales se encuentran en el documento “5.HojaDatos_TFM”. Los mismos fueron previamente configurados utilizando los *softwares Genius* y *DL.CODE 1.8.1* respectivamente, mediante los cuales se les asigno una dirección *IP* específica y se configuró los parámetros generales de lectura (Figura 61).



Figura 61. Configuración Lector Datalogic MS210N.

5 Análisis de los resultados

Una vez finalizado la implementación de nuestras aplicaciones, para la puesta en marcha y validación de su funcionamiento se ha tenido que coordinar con las empresas *Mecalux e Inser Robotica*. En esta etapa se realizaron diferentes ensayos de ingreso de contenedores al almacén, como también de suministro de material a los distintos puestos de trabajo. De dichos ensayos han surgido diferentes problemas de comunicación o coordinación, para los cuales cada una de las partes participantes ha tenido que realizar modificación y encontrar la solución conjunta. Algunos ejemplos de estos cambios pueden ser la generación de un nuevo mapa de la planta por parte de *Inser* por cambios en las instalaciones (proceso de *remapeado*), modificación en algunos campos de los mensajes *XML* de comunicación con *Mecalux*, entre otros.

Ensayos suministro de material

En primer lugar, se validó el funcionamiento de la interfaz de suministro de material mediante diferentes ensayos de petición de material al buffer de entrega asociado a la *Linea Bosch 03 (L03P01E)* (Figura 62 y Figura 63).



Figura 62. Petición material línea producción



Figura 63. Suministro material a Buffer L03P01E

Para la puesta en marcha del suministro de material, se repitió el mismo ensayo varias veces cronometrando el tiempo de entrega y realizando modificaciones para la optimización del mismo (Figura 64).

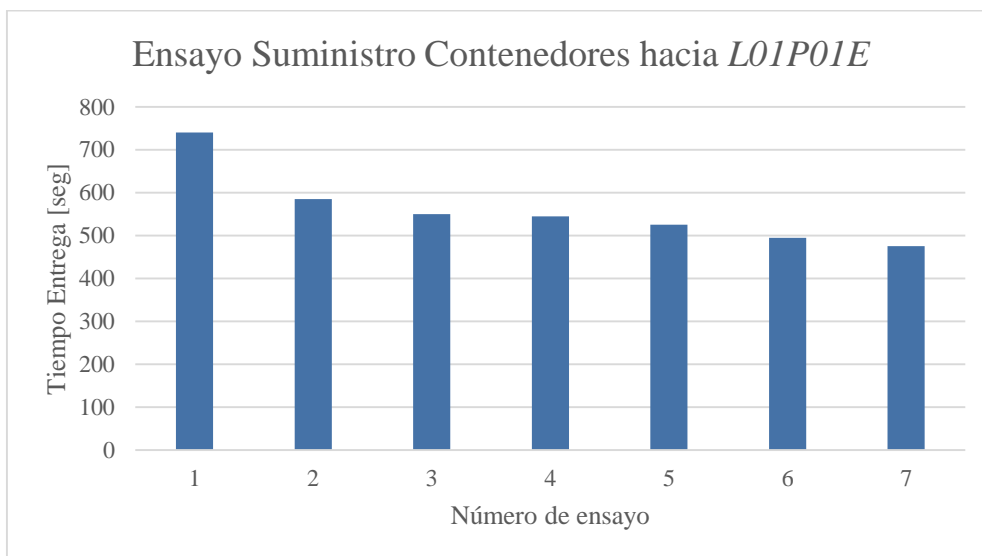


Figura 64. Optimización tiempo Ensayo Suministro Material

Ensayos ingreso de material

Para los ensayos de ingreso de material al almacén se procedió tanto a ingresar nuevos contenedores de producción propia (desde *Sección Producción de Plástico*) a través de la Interfaz de Ingreso diseñada, como también la devolución de material suministrado mediante el procedimiento de vaciado de buffer de *Node-Red*. Al igual que para el ensayo *Suministro de Material*, se procedió a cronometrar la duración de los ensayos de ingreso de contenedores al almacén desde la célula de ingreso ubicada en *Sección Producción de Plástico (P01P01R)*, obteniendo la gráfica de la Figura 67. Además en las Figura 65, Figura 66 y Figura 68 se brindan ilustraciones obtenidas de dichos ensayos.



Figura 65. Célula automática de Ingreso de Contenedores



Figura 66. Ensayo Ingreso Material AIV

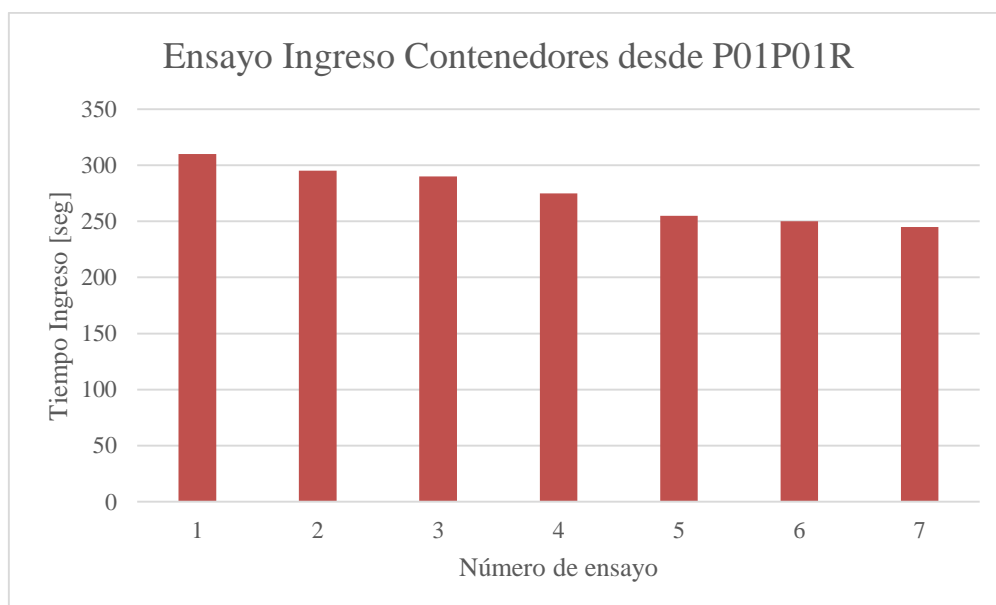


Figura 67. Optimización tiempo Ensayo Ingreso Material

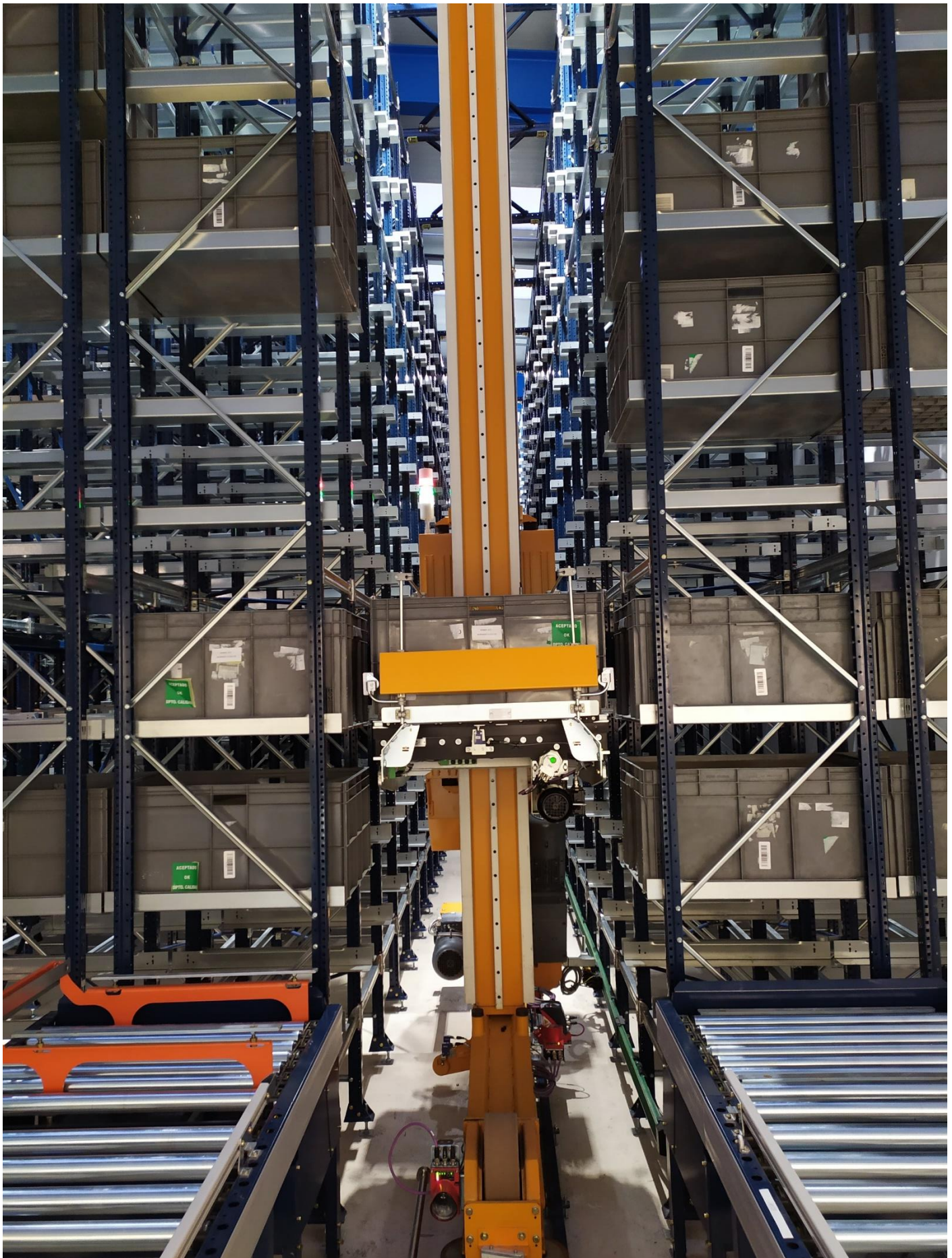


Figura 68. Ensayo Ingreso Material Miniload

Otra posible propuesta de trabajo a futuro, continuando con lo realizado al momento, sería el desarrollo de un sistema *MES (Manufacturing Execution System)*. Un sistema que permita rastrear y documentar todos los posibles indicadores clave o medidor de desempeño del funcionamiento del *Miniload* y *flota AIVs* integrados, brindando una medida del nivel del rendimiento a lo largo del tiempo en los procesos de suministro e ingreso de material.

6.2 Conclusión general y agradecimientos

Como conclusión general, luego de culminar el trabajo final universitario en una empresa, puedo afirmar que su aporte principal fue contar con la posibilidad de utilizar los conocimientos teóricos/prácticos adquiridos durante el máster en aplicaciones industriales reales. Aprendiendo de las fases de planificación, diseño y puesta en marcha de un proyecto industrial, con la resolución de los problemas propios que han de surgir en cada una de las fases. En esta oportunidad, se trabajó en coordinación con las personas encargadas del diseño mecánico de las nuevas instalaciones, aprendiendo a llevar a cabo un proyecto de forma conjunta. Además de la relación con proveedores y empresas de ingeniería (*Mecalux*, *InserRobotica*) para las tareas tercerizadas.

Para finalizar debo agradecer a la empresa *Normagrup* por su buen ambiente de trabajo y la libertad de participación en el proyecto global, no solo en la inclusión dentro de los grupos de trabajo sino también en la propuesta de cambios y nuevas ideas en el desarrollo del mismo.

7 Bibliografía

1. **BALIBREA, IZQUIERDO LUIS MANUEL TOMAS y ZAMORA, MIGUEL ANGEL.** AUTOMATIZACION DEL TRANSPORTE DE MATERIAL EN PROCESOS DE FABRICACION.
2. **Mecalux.** Transelevadores para cajas o miniload. [En línea] https://www.mecalux.es/almacenes-automaticos/almacenes-automaticos-cajas/transelevadores-cajas?src=gg¶m1=g¶m2=dynamic_search_ads¶m3=¶m4=c¶m5=&gclid=CjwKCAjwvOHZBRBoEiwA48i6AvppFsgoT1sW8QyImwa0RKIDPEA4qTCaS1waA0NKo969cPqPhIuEOTRoCNbcQAvD.
3. **Mecalux-Normagrup.** Análisis Funcional EasyWMS®.
4. **2015, Mecalux Easy WMS.** Interfaz de comunicaciones con ERP.
5. **OMRON.** AIV - Navegacion Inteligente. [En línea] <https://www.inser-robotica.com/agv-aiv-omron/>.
6. **Pypi.org.** Primeros pasos en PyQt 5 y Qt Designer: Programas gráficos con Python. [En línea] <https://medium.com/@hektorprofe/primeros-pasos-en-pyqt-5-y-qt-designer-programas-gr%C3%A1ficos-con-python-6161fba46060>.
7. **Pypiorg.** DB API Module for ODBC. [En línea] <https://pypi.org/project/pyodbc/>.
8. —. MQTT version 3.1.1 client class. [En línea] <https://pypi.org/project/paho-mqtt/>.
9. **Beckhoff.** *Manual TC3 C++*.
10. **Pypiorg.** Python wrapper for TwinCAT ADS library. [En línea]
11. **Oasys.** NUEVAS TENDENCIAS EN LOS SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN. [En línea] <https://oasys-sw.com/3-nuevas-tendencias-en-los-sistemas-de-automatizacion/>.