Puesta En Marcha de la Línea 3 de Terminación en fábrica de cuplas de Siderca, Tenaris.

Autor: Orcina Matias Iván -58294-

Tutores: Gelso Lautaro (ITBA)
Pujo Matias (TENARIS)

31.40 Proyecto Mecánico

Julio 2023

I. Resumen ejecutivo

El presente documento corresponde al informe de trabajo final de Ingeniería Mecánica en vistas del Proyecto de Puesta en Marcha de la Línea 3 de Terminación en fábrica de cuplas de Siderca, Tenaris.

El contenido de este informe se divide en secciones para una mejor organización de la información:

- Sección 1: Breve introducción del proyecto. Se presentan los objetivos y el enfoque.
- Sección 2: Busca contextualizar la historia del proyecto.
- Sección 3: Se desarrollan los temas referentes a la Puesta En Marcha de la Línea 3 de Terminación y otras tareas de Ingeniería que debieron ejecutarse en paralelo para asegurar la integridad del proyecto.
- Sección 4: Se detallan las actividades de Ingeniería realizadas para el subproyecto del Sistema de Aspiración de la Línea.
- Sección 5: Se presentan las reflexiones finales y aprendizajes del proyecto.
- Sección 6: Se presenta la bibliografía utilizada.

Finalmente, en la Sección 7 (Anexo) se presentan documentos complementarios de gran valides para profundizar en los temas tratados. En los documentos presentados podrán visualizarse los documentos realizados por el autor bajo la firma de 'MIO'.

II. Palabras clave

Puesta en Marcha, Línea de terminación, Sistema de aspiración, Cuplas, Fabrica de Cuplas, Master Plan.

III. Glosario

- PEM: Puesta en Marcha
- FOL1: Línea 1 de terminación
- FOL2: Línea 2 de terminación
- FOL3: Línea 3 de terminación
- FOL4: Línea 4 de terminación
- ET: Especificación Técnica
- NT: Nota Técnica
- MP: Master Plan
- FACU: Fabrica de Cuplas
- LACO1: Laminador Continuo 1
- LACO2: Laminador Continuo 2
- PREM: Premium
- Techint/TEIC: Techint Ingeniería & Construcción
- WIP: Stock de procesos
- SECU: Semielaborados de Cuplas
- GEIN/ENGI: Gestión de Ingeniería
- PREN: Proyect Engineering
- AUTO: Automación
- FOSF: Fosfatizado
- OTM: Orificio Toma Muestra
- VOC: Compuestos Volátiles Orgánicos

IV. Contenido

I. Resumen ejecutivo 2
II. Palabras clave 2
III. Glosario 2
IV. Contenido 3
V. Índice de figuras 4
VI. Índice de tablas 6
1. Introducción 7
2. Contextualización 7
2.1. Contexto general 7
2.1.1. Fábrica de Cuplas 7
2.1.2. Master Plan de FACU 8
2.2. Línea 3 de Terminación 9
2.2.1. Generalidades 9
2.2.2. Esquema general y detalle de equipos 10
2.2.3. Funcionamiento 12
3. Puesta En Marcha FOL3 15
3.1. Cronología de PEM 15
3.1.1. Dinámica de planta y contexto actual 15
3.1.2. Optimización del tiempo de ciclo 16
3.2. Tareas no programadas de PEM 17
3.2.1. Generalidades 17
3.2.2. Celda de pintado 18
3.2.3. Celda de terminación 39
3.2.4. Celda de paletizado 49
3.3. Otras tareas de Ingeniería necesarias 52
3.3.1. Generalidades 52
3.3.2. Adaptación en los consumos de cuplas 53
3.3.3. Manipulador de cuplas para la carga de FOL3 56
4. Sistema de Aspiración Nave 4 59
4.1. Estudio Previo 59
4.2. Ingeniería básica 59
4.3. Especificación técnica 60

4.4. Licitación 61
4.5. Cronología 61
4.6. Diseño final 62
4.7. Planificación de obra y caída del proyecto 67
4.7.1. Generalidades 67
4.7.2. Gestión de recursos para la obra 68
4.7.3. Caída del proyecto 68
4.7.4. Situación actual 69
5. Conclusiones 71
5.1. Reflexiones 71
5.1.1. PEM FOL3 71
5.1.2. SIAS N4 72
5.2. Aprendizajes 73
6. Bibliografía 73
7. Anexo 74

V. Índice de figuras

Fig. 1: Proceso productivo de FACU. 8
Fig. 2: Layout FACU previo a la implementación de las etapas 1 y 2 del MP. 9
Fig. 3: Layout FACU posterior a la implementación de las etapas 1 y 2 del MP. 9
Fig. 4: Vista isométrica de la FOL3 10
Fig. 5: Detalle de equipos - Vista en planta FOL3. 11
Fig. 6: Celda de pintado - Flujo de cuplas 12
Fig. 7: Celda de terminación - Flujo de cuplas. 13
Fig. 8: Celda de paletizado – (C) Flujo de cuplas – (S) Flujo de separadores – (P) Flujo de pallets vacíos – (núm.) Flujo de pallets completos. 14
Fig. 9: Diagrama de Gantt PEM FOL3 - Hoja 1. 15
Fig. 10: Diagrama de Gantt PEM FOL3 - Hoja 2. 15
Fig. 11: Circuitos hidráulicos de la cabina de contención de pintura. 19
Fig. 12: Primera prueba de llenado de agua de la cabina. 20
Fig. 13: Descripción del pórtico de pintado exterior. 21
Fig. 14: Oxido y suciedad en cremallera, guías y patines del pórtico. 21
Fig. 15: Suplementado del pórtico. 22
Fig. 16: Gabinete de entrada de cuplas previo (a) y posterior (b) a la modificación. 23
Fig. 17: Visualizador de cámaras de detección de cuplas en mesa de entrada. 23
Fig. 18: Sistema de iluminación del gabinete, previo (a) y posterior (b) a la modificación. 24
Fig. 19: Depósito de pinturas para pintado exterior. 24
Fig. 20: Tapa móvil de los recipientes de pintura: (a) Visualización del problema; (b) Situación provisoria para no interrumpir las pruebas 25

Fig. 21: Gripper del robot de pintado. 27
Fig. 22: Cajeras del gripper de pintado exterior. 27
Fig. 23: Garras del gripper de pintado exterior: originales (a) y rediseñadas (b). 28
Fig. 24: Sistema de empuje vertical del pórtico de pintado. 30
Fig. 25: Eje del servomotor roto. 30
Fig. 26: Daños en la cremallera. 31
Fig. 27: Superficie de fractura del eje del servomotor. 31
Fig. 28: Rotura de la carcasa del reductor. 32
Fig. 29: Desalineación del eje del reductor. 33
Fig. 30: Contacto del piñón con el pórtico a causa de la rotura. 33
Fig. 31: Eslabón deformado y descarrilamiento de cadena. 34
Fig. 32: Desfasaje de cuplas en el horno. 34
Fig. 33: Prueba realizada para observar el desfasaje de cuplas en el horno. 35
Fig. 34: Nuevo eje motriz de la cadena del horno. 35
Fig. 35: Sistema de carga de cuplas. 36
Fig. 36: Vinculación servo-reductor. 36
Fig. 37: (a) Eje y (b) piñón del reductor rotos. 37
Fig. 38: Eje roto: (a) Origen de fisura, (b) Superficie de fractura y (c) Error de diseño. 37
Fig. 39: Columna de pintado exterior. 38
Fig. 40: (a) Visualización del problema. (b) Solución adoptada. 39
Fig. 41: Mecanismo de acople y giro del husillo. 39
Fig. 42: Empujador del acople y soporte del sensor instalado. 40
Fig. 43: Eje motriz original de la cadena de paletizado. 41
Fig. 44: Ubicación de los ejes motrices en la cadena de paletizado. 41
Fig. 45: Gripper del robot de terminación. 42
Fig. 46: Posiciones con interferencia para cuplas chicas. 42
Fig. 47: Agarre de cuplas chicas. 43
Fig. 48: (a) Dispositivo para purgado y (b) forma de uso. 44
Fig. 49: Depósito de pinturas de terminación. 45
Fig. 50: Agarraderas para tachos de acero inoxidable. 46
Fig. 51: Estación de aceitado. 46
Fig. 52: Zona descubierta del chapón y contención de PVC. 47
Fig. 53: Descripción del problema con sensores. 48
Fig. 54: Disposición de sensores en la estación de aceitado previo (a) y posterior (b) a la modificación. 48
Fig. 55: Ubicación de los tomes en la cadena de paletizado. 49
Fig. 56: Pallets envueltos: (a) primeras pruebas y (b) luego de bajar el film a su límite inferior. 50
Fig. 57: Comparativa pallets Arlog (a) y para exportación a BC (b). 51
Fig. 58: Disposición de pallets tipo Arlog en cadena de entrada (a) y de salida (b) de pallets. 51
Fig. 59: Disposición de pallets para exportación en cadena de entrada (a) y salida (b) de pallets. 51
Fig. 60: Vista frontal de pallets tipo Arlog en cadena de entrada de pallets. 52
Fig. 61: Capacho de cuplas terminadas. 53
Fig. 62: Cuplas terminadas paletizadas manualmente. 54
Fig. 63: Grippers diseñados para a) TCR2 y PIMA; y TCR3 y ROCO en posición de cuplas b) horizontal y c) vertical. 55
Fig. 64: Jaula porta pallet: a) render, b) prueba de izaje con puente grúa. 56
Fig. 65: Disposición de cesta provisoria para la carga con pluma en FOL3. 57
Fig. 66: Grueta magnética instalada como sistema de carga en FOL3. 58
Fig. 67: Chimeneas existentes, pasarela nueva y ubicación de la chimenea de Nave 4 (SIAS). 60

Fig. 70: Render 3D SIAS - N4 Interior. 62
Fig. 71: Render 3D SIAS - N4 Exterior. 63
Fig. 72: Soporte de bandejas porta cables y cañerías neumáticas e hidráulicas: (a) disposición en la Nave; (b) fijación a la Nave; y (c) esquema del soporte y ubicación de suministros. 64
Fig. 73: Pasarela de acceso a OTM's existente. 65
Fig. 74: Zona disponible para montar ventilador y chimenea. 66
Fig. 75: Dimensiones y ubicación física de la platea de hormigón. 66
Fig. 76: Filtro instalado en la acometida de la cabina de contención de pintura. 69
Fig. 77: Cadena de entrada de pallets en (a) 2021, y (b) 2023. 69
Fig. 78: Cadena de salida de pallets en (a) 2021, y (b) 2023. 70
Fig. 79: Celda de terminación en (a) 2021, y (b) 2023. 70
Fig. 80: Diagrama de Gantt SIAS Nave 4 – Hoja 1. 74
Fig. 81: Diagrama de Gantt SIAS Nave 4 – Hoja 2. 74

VI. Índice de tablas

Tabla 1: Detalle de equipos – Descripción. 11
Tabla 2: Resumen de la PEM de FOL3. 18
Tabla 3: Consumos de cuplas procesadas por FOL3. 53

1. Introducción

Tenaris es una empresa metalúrgica líder a nivel mundial en fabricación de tubos de acero y servicios relacionados para la industria energética. Esto abarca tanto la industria de petróleo y gas a nivel perforación, transporte y producción, así como distintas industrias y procesos que utilicen productos tubulares para transporte de fluidos. Además de la industria energética, sus productos tubulares son utilizados en aplicaciones mecánicas y estructurales de alto rendimiento.

En la ciudad de Campana (Argentina) se encuentra Siderca, uno de sus parques industriales más grandes, destinado principalmente a la producción de tubos sin costura y sus cuplas de unión. En lo que respecta al proceso principal de producción, Siderca cuenta con un horno reductor, una acería, dos laminadores continuos con sus respectivos centros de mecanizado y tratamientos térmicos, una fábrica de cuplas y un centro de mecanizado de los productos Premium.

El equipo de Ingeniería (GEIN) centra su labor principal en llevar a cabo los proyectos de mejora de alto impacto en Siderca, con bases en la optimización de los centros productivos, aumento de capacidad de planta e implementación de mejoras tecnológicas, manteniendo un enfoque orientado en lograr un espacio seguro de trabajo y la sustentabilidad del medio ambiente.

El objetivo general del proyecto presentado en este trabajo es poner en funcionamiento la nueva Línea 3 de Terminación (FOL3) que se instaló en fábrica de cuplas de Siderca (FACU). En este documento, se profundizará sobre las actividades desarrolladas como integrante del equipo de Mecánicos de GEIN para lograr cumplir con el objetivo mencionado.

El proyecto tiene dos ejes principales:

- **Puesta en Marcha de la Línea:** Se describen las tareas extraordinarias realizadas para brindar asistencia mecánica al equipo de Automación de GEIN, con el fin de minimizar las interrupciones no programadas de las tareas ordinarias de Puesta en Marcha (PEM). A su vez, se presentan otras tareas realizadas en simultaneo al desarrollo de las actividades, que resultan indispensables para asegurar la integridad del proyecto y una correcta operatoria de la Línea.
- **Sistema de Aspiración Nave 4:** Se presenta la Ingeniería, desarrollo, documentación y situación final del Sistema de extracción de gases residuales del proceso de pintado de la Línea, explicando las tareas realizadas por el autor como Proyect Manager de este subproyecto.

2. Contextualización

2.1. Contexto general

2.1.1. Fábrica de Cuplas

En la fábrica de cuplas de Siderca (FACU), se producen las cuplas roscadas que unen los tubos sin costura. Las cuplas consisten en segmentos de tubos con rosca hembra en sus extremos, que permitirán la unión hermética de dos tubos roscados. Estos elementos deben cumplir rigurosos estándares de calidad bajo normas internacionales y locales.

Las gamas de cuplas producidas en FACU son muy variadas en cuanto a diámetros, espesores, longitudes y pesos. Al igual que todos los tubos producidos en Siderca, la forma principal de caracterizar las cuplas es por su diámetro exterior, siendo la gama de cuplas que se produce de 2 3/8” a 9 5/8”.

A grandes rasgos, la materia prima que ingresa a FACU son tubos sin costura de grueso espesor provenientes de los laminadores (LACO1 y LACO2), y el producto de salida son las cuplas terminadas, las cuales se envían a los clientes que pueden ser internos (LACO1, LACO2 y PREM) o externos (BAY CITY). En la **Fig. 1** se esquematiza el ciclo productivo de las cuplas, donde pueden observarse las 4 etapas productivas principales: corte, mecanizado, fosfatizado y terminación. El proceso de producción de FACU se completa con las distintas etapas intermedias de medición, inspección y ensayos no destructivos de las cuplas.

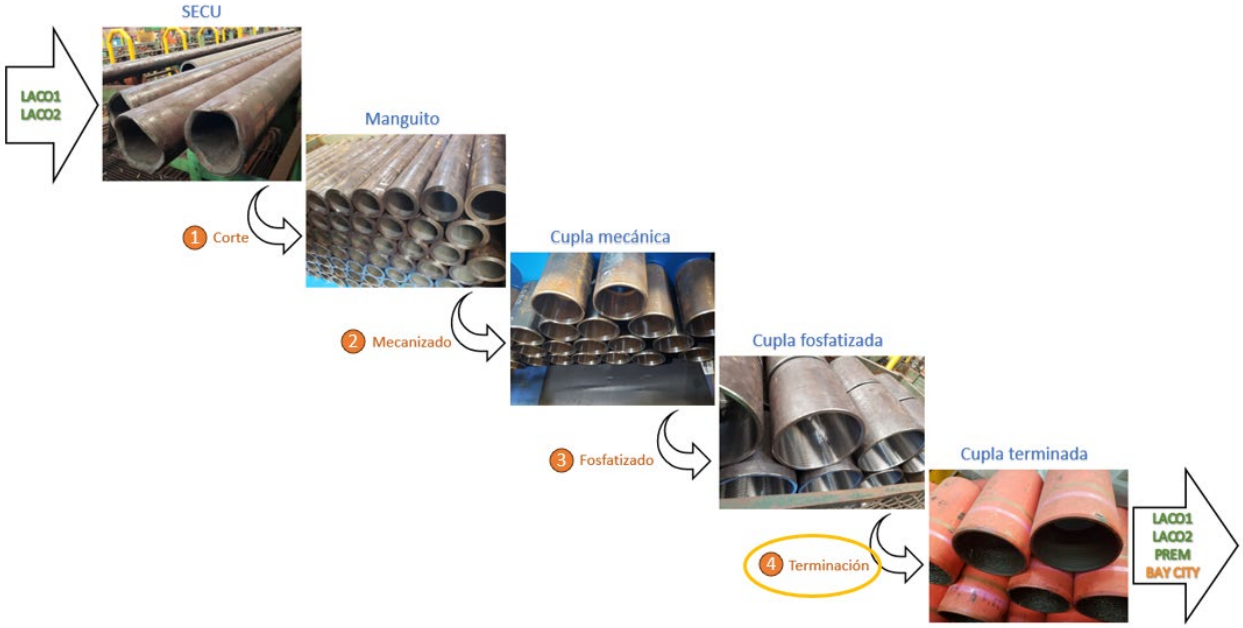


Fig. 1: Proceso productivo de FACU.

2.1.2. Master Plan de FACU

La ingeniería, construcción, montaje y PEM de la FOL3 es parte de un Master Plan (MP) liderado por GEIN que nace en 2017 bajo el concepto de reducir los altos costos de producción y mejorar la eficiencia de las máquinas de FACU. Previo al Master Plan, FACU contaba con el sistema más costoso de todo Siderca debido a tornos poco productivos, cuellos de botella secundarios que impactaban en altos costos de tercerización y largos lead times.

Dada la escala y complejidad del Master Plan de FACU, el mismo se subdivide en etapas. Las dos primeras etapas están ligadas entre sí, y son descriptas a continuación para poder comprender las decisiones de gestión del proyecto FOL3. En las Fig. 2 y 3 se presenta una comparativa del layout de FACU, previo y posterior a la implementación de estas etapas.

1. **Líneas de Terminación en la nueva Nave 4**: El desarrollo de la FOL3 está contenido dentro de esta primera etapa del MP. Aquí se propone la construcción de la nueva Nave 4, donde se monta la FOL3 y donde, posteriormente, se instalará la FOL4 (en paralelo a FOL3). Con esta mejora se absorbe internamente el 100% de la tercerización los procesos de pintado, se mejoran los flujos de cargas y se libera espacio en planta para ampliaciones futuras al desmontar las Líneas actuales de Terminación (FOL1 y FOL2).

2. **Fosfatizado 'One Way'**: El movimiento de las Líneas de Terminación permite operar el Fosfatizado en un único sentido, lo que genera un aumento de productividad a partir de la sinergia de las grúas para trabajar en simultaneo en la carga y descarga del fosfatizado.

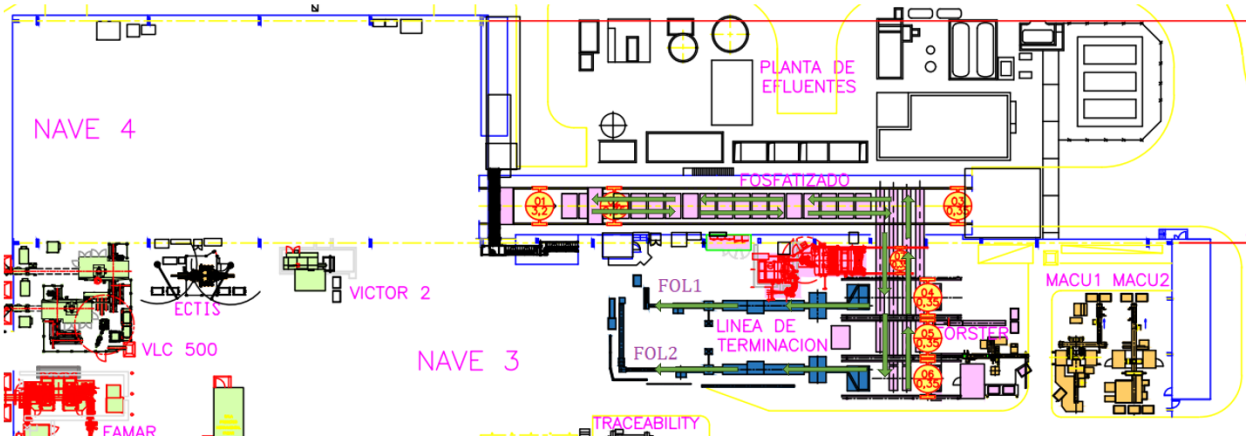


Fig. 2: Layout FACU previo a la implementación de las etapas 1 y 2 del MP.

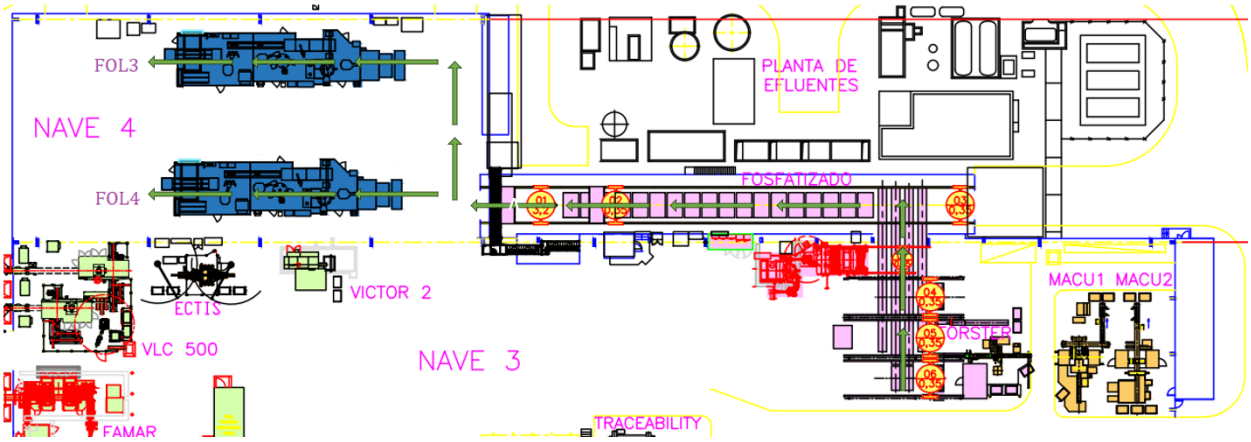


Fig. 3: Layout FACU posterior a la implementación de las etapas 1 y 2 del MP.

Las etapas restantes del Master Plan proponen mejoras en los procesos de corte y mecanizado, así como también en los estadios intermedios de inspección y ensayos no destructivos. Se decide no profundizar en estas etapas dada la escasa vinculación con el proyecto discutido en este trabajo.

2.2. Línea 3 de Terminación

2.2.1. Generalidades

La FOL3 es una Línea de producción automatizada diseñada para pintar, franjear, estarcir, barnizar, aceitar y paletizar una amplia variedad de cuplas de FACU. La materia prima son las cuplas ya mecanizadas y fosfatizadas, y el producto final son pallets completos de cuplas terminadas listas para enviar a los clientes. El diseño de la Línea fue realizado por el departamento de Ingeniería de Siderca en 2018, y luego la empresa Constantini se encargó de la ingeniería de detalle, fabricación y provisión de equipos.

Mientras se avanzaba con la fabricación de los equipos, se procedió a realizar la obra civil que conllevaba la construcción de la nueva Nave 4, donde sería instalada la FOL3 junto con la futura FOL4. Hacia fines

de 2019, la construcción de la Nave 4 había llegado a su fin, y se comenzaban a realizar las obras civiles propias de la Línea, como ser las fundaciones para los robots, las canalizaciones subterráneas y la construcción de la sala de tableros eléctricos.

En el alcance original del proyecto se contemplaba la entrega de la Línea a Tenaris con toda su programación funcional y de seguridad realizada y probada en las instalaciones del proveedor antes de realizar el envío de los equipos. Dado que el proyecto se desarrolló durante la pandemia de Covid-19, la falta de recursos y de materiales para la obra, provocaron serios retrasos en la entrega de la Línea. A este hecho, además, se suma la rotación del personal de trabajo en toda la vida del proyecto, tanto de parte de Tenaris como del proveedor, lo cual generó algunos cambios de alcance que también impactaron en los plazos de entrega.

Bajo este contexto, el proveedor se vio obligado a comenzar a entregar parte de los equipos antes de ser programados y probados en sus instalaciones por completo para obtener cierta remuneración monetaria por el proyecto. Las consecuencias de este hecho impactaron directa o indirectamente en las etapas de montaje y Puesta En Marcha de la Línea, y serán explicadas con mayor detalle en la Sección 3.

2.2.2. Esquema general y detalle de equipos

En la **Fig. 4** se presenta una vista isométrica de la FOL3, extraída del archivo 3D suministrado por el proveedor. La Línea funciona completamente automatizada y está dividida en 3 celdas que pueden operar independientemente: celda de Pintado, celda de Terminación y celda de Paletizado. En cada una de las celdas se ubica un robot central que se encarga de realizar los movimientos internos de las cargas.

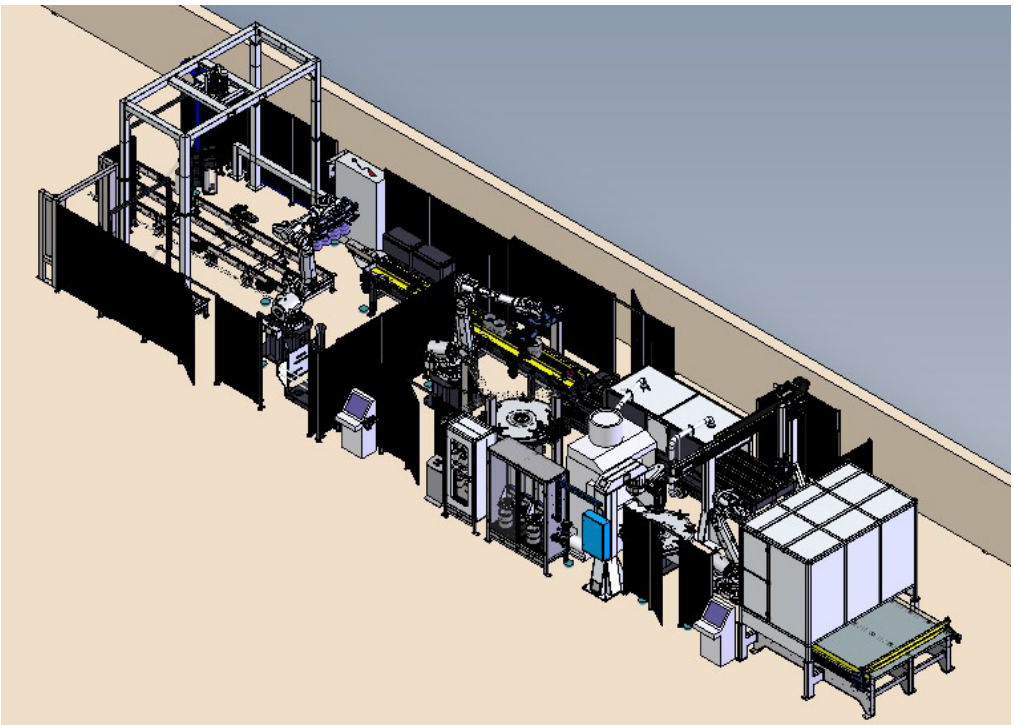


Fig. 4: Vista isométrica de la FOL3.

El tiempo de ciclo total de las cuplas en la Línea es de entre 10 y 14 segundos por cupla, dependiendo de las dimensiones de la misma. Este tiempo hace referencia al lapso entre que una cupla avanza de una posición a otra en la secuencia de movimientos.

Las principales ventajas de la FOL3 son sus escasos tiempos de ciclo y la flexibilidad en cuanto a las operaciones que pueden realizar. Al ser una Línea totalmente automatizada que cubre toda la gama de cuplas de FACU, puede personalizarse la carga que se va a introducir, y realizar los mismos procesos que se hacen en las Líneas de terminación existentes (FOL1 y FOL2).

Otra ventaja fundamental de la FOL3 es su posibilidad de sacar las cuplas paletizadas. Esto resulta esencial para las cuplas que se envían a Bay City, principalmente debido al hecho de que la FOL1 y FOL2 no tienen esta capacidad y su paletizado se realiza manualmente. La cantidad de cuplas que se cargan por pallet también es función del diámetro de cuplas procesado, pero ronda entre 75 y 150 cuplas.

En la **Fig. 5** se presenta una vista en planta de la Línea con un detalle de equipos referenciado a la **Tabla 1**. Por cuestiones de simplicidad del esquema, en el detalle de equipos no se incluyen los cerramientos perimetrales, las puertas de acceso ni cualquier elemento de seguridad como sensores y barreras ópticas.

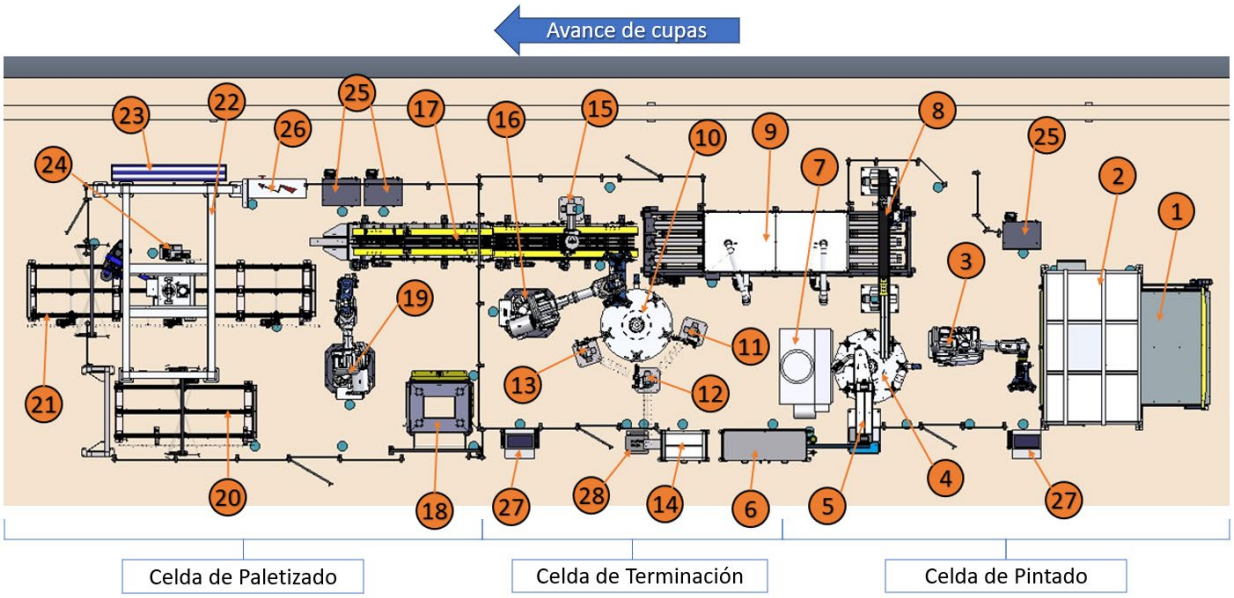


Fig. 5: Detalle de equipos - Vista en planta FOL3.

Detalle de equipos de FOL3 FACU			
Id	**Descripción**	**Id**	**Descripción**
1	Mesa de entrada de cuplas	15	Columna de aceitado de rosca
2	Campana de visión	16	Robot de terminación
3	Robot de pintado	17	Cadena de cuplas a paletizado
4	Mesa giratoria de 8 husillos	18	Dispensadora de separadores
5	Columna de pintado exterior	19	Robot de paletizado
6	Depósito de pinturas exteriores	20	Cadena de entrada de pallets
7	Cabina de contención de pintura	21	Cadena de salida de pallets completos
8	Pórtico manipulador de cuplas	22	Envolvedora de pallets
9	Horno de precalentado	23	Portarodillos de film superior
10	Mesa giratoria de 5 husillos	24	Cortadora de film circunferencial
11	Columna de franjeado	25	Controladores de Robots
12	Columna de estarcido	26	Tablero eléctrico/neumático de envolvedora
13	Columna de barnizado	27	Tableros eléctricos/neumáticos de celdas
14	Depósito de pinturas de franjeado y barniz	28	Tablero eléctrico de estarcidora

Tabla 1: Detalle de equipos – Descripción.

La alimentación eléctrica de la Línea se centraliza en una sala de tableros ubicada en altura. Debajo de los equipos mostrados está el piso de la Nave, el cual cuenta con una red de canalizaciones subterráneas para el ruteo de cables y alimentación neumática para alimentar los equipos. A su vez, sobre las paredes de la Nave se realiza una canalización por bandeja aérea que transporta el suministro neumático e hidráulico, y otros cables para alimentar el circuito de iluminación. En la Sección 2.2.3 se describe el funcionamiento de la Línea referenciando las tareas desarrolladas en cada.

2.2.3. Funcionamiento

2.2.3.1. Celda de Pintado

En la **Fig. 6** se observa un detalle de la celda de Pintado. A continuación, se describe su funcionamiento:

- Las cuplas llegan en capacho del fosfatizado y son cargadas sobre la mesa de entrada **(1)**, la cual posee una cadena de arrastre (empujador) que moviliza las cuplas hacia el otro extremo de la mesa, debajo de la campana de visión **(2)**.
- La campana cuenta con un sistema integrado de visión e iluminación especial el cual permite que el Robot de pintado detecte la posición de las cuplas y, mediante un gripper mecánico, las tome y las coloque en la mesa giratoria de 8 husillos en la posición **(3)**, sobre un plato magnético con forma de cruz.
- Cuando la mesa giratoria detecta que se ha colocado una cupla, realiza una rotación de 45° respecto a su eje central, avanzando una posición. Luego de que la cupla avance 4 posiciones, la misma se ubica frente a la pistola de pintado exterior **(4)** y allí comienza a girar sobre su propio eje (guiada por un plato metálico), mientras que la pistola aplica la pintura mediante un aspersor. Detrás de la cupla se observa una cabina de contención, la cual cumple la función de retener la pintura remanente del proceso de pintado.
- Una vez finalizado el pintado, la cupla avanza 3 posiciones más hasta ubicarse debajo del pórtico de pintado exterior **(5)**, donde un gripper toma la cupla y la ubica en la entrada de la cadena del horno **(6)**.
- Una vez completada la línea de 3 cuplas, la cadena avanza y las cuplas van ingresando al horno, donde se las calienta a aproximadamente 60°C con el fin de evaporar los solventes y fijar la pintura.

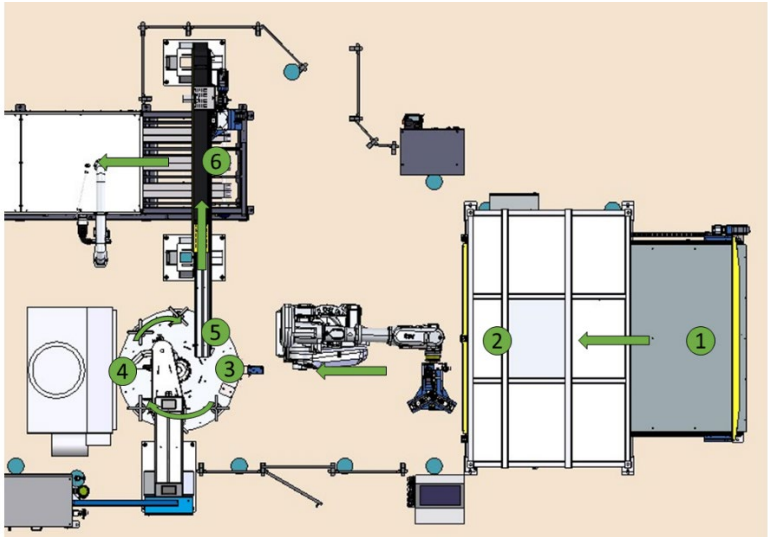


Fig. 6: Celda de pintado - Flujo de cuplas.

1.1.1.1. Celda de Terminación

En la **Fig. 7** se observa un detalle de la celda de Terminación. A continuación, se describe el esquema de movimientos en esta celda:

- Una vez que la cupla atraviesa el horno ya se encuentra fijada su pintura exterior y precalentada a unos 60°C. En esas condiciones, el Robot de terminación toma la cupla en la posición **(1)** y la ubica sobre la mesa giratoria de 5 husillos **(2)**, en una base idéntica a la de 8 husillos.
- Al avanzar una posición, la cupla queda enfrentada a una columna de franjeado **(3)** que posee una pistola de 4 aspersores, la cual realiza el franjeado mientras la cupla gira sobre su propio eje. Esta pistola a su vez cuenta con un aspersor adicional que tiene la particularidad de poder realizar una franja blanca longitudinal en la cupla para generar un mayor contraste en la etapa siguiente del proceso.
- Al finalizar la etapa de franjeado, la mesa giratoria avanza una posición hasta que la cupla queda enfrentada a una columna estarcidora **(4)**, la cual cumple la función de imprentar un número de serie en la dirección de su eje, para tener un control de la trazabilidad.
- Luego, la mesa gira una posición más hasta ubicar la cupla frente a la columna de barnizado **(5)**, la cual aplica un recubrimiento protector de la pintura mientras la cupla gira sobre su eje.
- Finalmente, la cupla avanza a la posición **(6)** de la mesa giratoria, donde el Robot de terminación la toma para ubicarla en la cadena de paletizado **(7)**, a la par que toma otra cupla de la salida del horno **(1)** y repite el ciclo sobre la mesa.
- Una vez en la cinta, la cupla avanza hasta ubicarse frente a la columna de aceitado **(8)**, donde un inyector vertical ingresa a su interior guiado por una tapa, controlando el proceso de aceitado de la rosca. Ya aceitada, la cupla continua su camino por la cadena de paletizado avanzando a la siguiente celda.

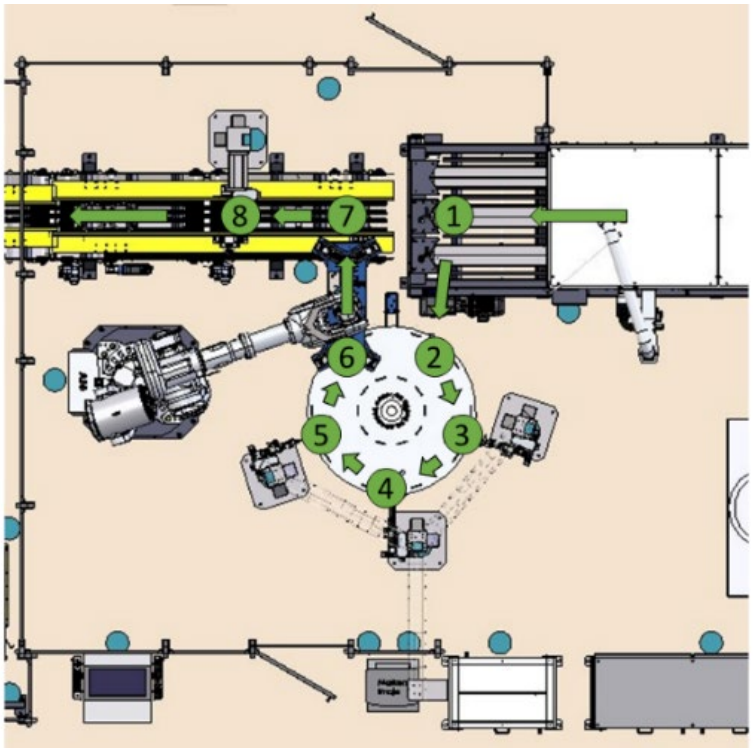


Fig. 7: Celda de terminación - Flujo de cuplas.

1.1.1.2. Celda de Paletizado

En la **Fig. 8** se visualiza el detalle de la celda de Paletizado, y se describe según se detalla a continuación:

- Una vez finalizado el aceitado de rosca, las cuplas avanzan por la cadena de paletizado hasta un tope mecánico ubicado al final de la misma. El Robot de Paletizado cuenta con un gripper especial que posee un agarre mecánico, unas sopapas y un electroimán, que le permiten realizar la toma y manipulación de los pallets vacíos, los separadores y las cuplas, respectivamente.
- Por la cadena de entrada de pallets ingresan los pallets vacíos apilados que son cargados con un autoelevador desde el exterior de la celda. El Robot de paletizado toma uno de estos pallets en la posición **(P)** mediante unas pinzas mecánicas y lo ubica sobre la cadena de salida **(1)**.
- Luego procede a la toma de un separador de la posición **(S)** para colocarlo sobre el pallet vacío **(1)**, y posteriormente, va tomando las cuplas con el electroimán en la posición **(C)** y completando el armado matricial de las cuplas **(1)**.
- Este proceso se repite hasta realizar la carga completa del pallet, siempre ubicando separadores entre cada nivel de cuplas. La cantidad de cuplas por nivel, así como la cantidad de niveles de cupla por pallet depende de las dimensiones de la cupla que se esté produciendo en esa pasada de línea, y de los pesos máximos admisibles para los pallets.

Una vez completado el pallet **(1)**, la cadena de salida de pallets se activa para moverlo hasta el centro de la enfilmadora **(2)**, donde un brazo rotante realiza un movimiento circular alrededor del pallet, envolviéndolo con un film de nylon. Luego de 5 vueltas, se corta el film envolvente y la máquina procede a colocar un film superior a modo de tapa, que se fija mediante otras 5 vueltas de film del brazo rotante. Finalizado el proceso de enfilmado, el pallet completo es movilizado hacia el final de la cadena de salida de pallets y está listo para ser retirado por un autoelevador y ser llevado a sus puntos de consumo.

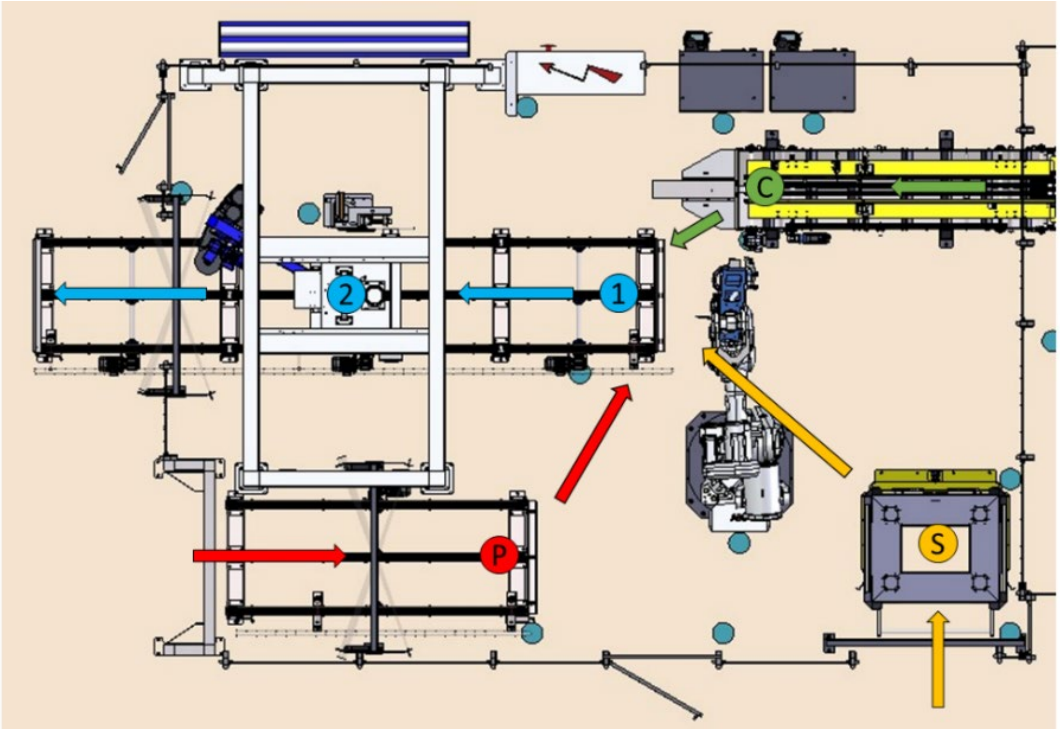


Fig. 8: Celda de paletizado – (C) Flujo de cuplas – (S) Flujo de separadores – (P) Flujo de pallets vacíos – (núm.) Flujo de pallets completos.

3. Puesta En Marcha FOL3

3.1. Cronología de PEM

3.1.1. Dinámica de planta y contexto actual

En las **Fig. 9** y **10** se presenta un resumen del Diagrama de Gantt de la PEM de FOL3.

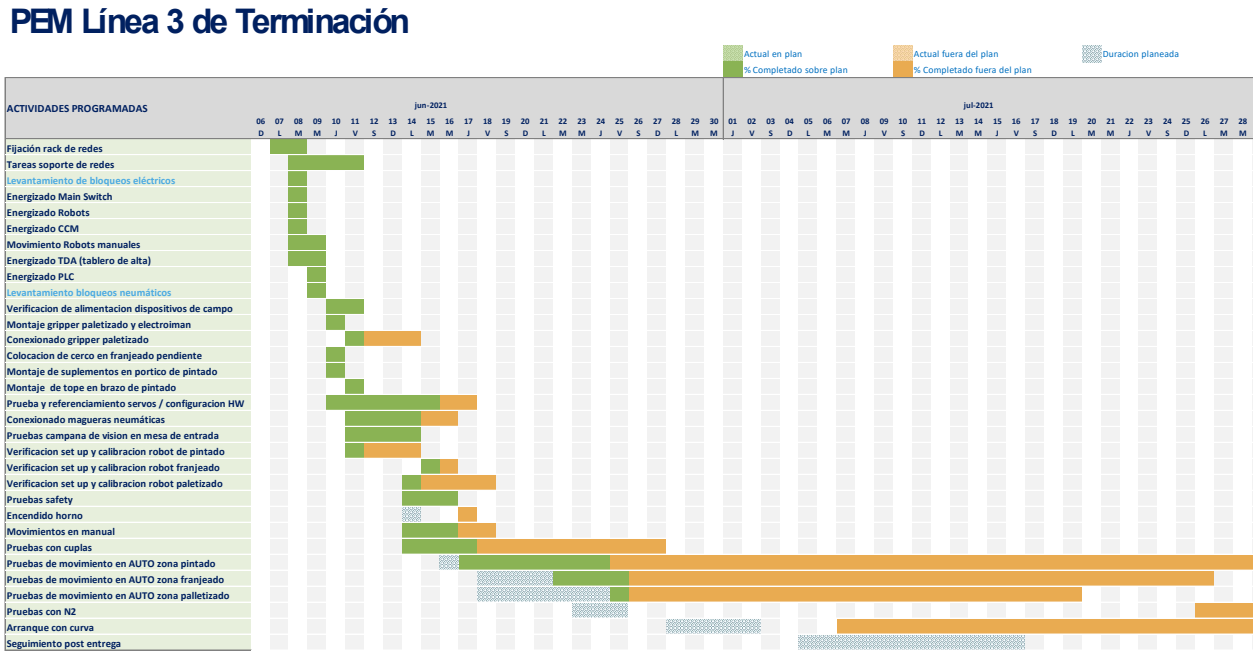


Fig. 9: Diagrama de Gantt PEM FOL3 - Hoja 1.

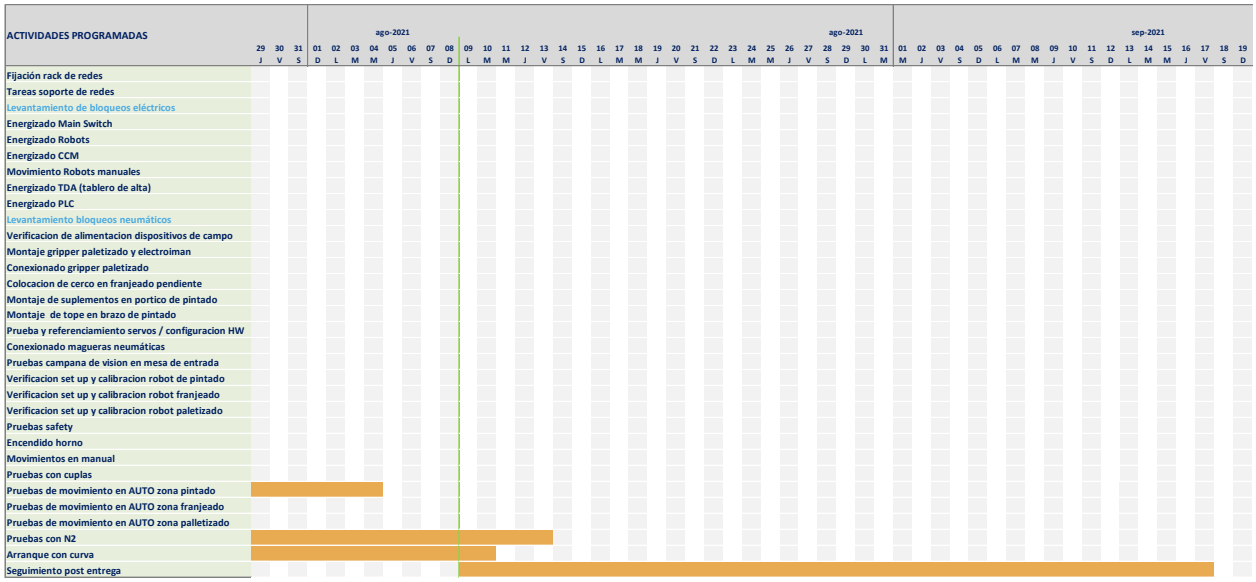


Fig. 10: Diagrama de Gantt PEM FOL3 - Hoja 2.

La PEM de la Línea comenzó el día 07/06/2021 y tuvo una duración estimada de 15 semanas.

El desarrollo de la PEM fue liderado por el equipo de Automación (AUTO) con asistencia de representantes del proveedor. Particularmente en este trabajo no se focalizará en las tareas programadas de PEM realizadas por este equipo, sino en las tareas extraordinarias que surgen debido a inconvenientes y que requieren la interrupción del desarrollo normal de la PEM.

En el diagrama podemos ver que, en principio, la entrega de la Línea a Operaciones y Mantenimiento había sido estimada para la semana 5, pero debido a los distintos retrasos e imprevistos que fueron surgiendo durante el desarrollo de la PEM, la entrega se terminó haciendo efectiva la semana 10.

Para comprender un Cronograma de Proyecto tan extenso y diferido de lo planeado, y un esquema de trabajo tan personalizado brindando asistencia continua al cliente, resulta necesario hacer una breve introducción del contexto en el cual se aborda este proyecto.

Como se mencionó anteriormente, la FOL3 corresponde a la primera etapa del MP de FACU. En un principio, dentro de esta misma etapa, se contemplaría el diseño, fabricación, montaje y PEM de la FOL4. A medida que se avanzaba con el proyecto, la inversión total de la FOL3 se incrementaba considerablemente, motivo por el cual se decidió quitar la FOL4 de la etapa inicial del MP y plantear su construcción en una etapa posterior al Revamping del Fosfatizado (etapa 2), dado que para ese entonces este centro ya se encontraría trabajando con sentido de cargas único hacia Nave 4, y la FOL3 estaría operativa a máxima capacidad, pudiendo abastecer la producción de las Líneas existentes. Con esto, se permitía desmontar por completo la FOL1 y FOL2, y recuperar sus equipos para construir la FOL4, requiriendo así mucha menos inversión que la FOL3.

Dada esta decisión de dejar operativas la FOL1 y FOL2 hasta luego de implementadas las mejoras del fosfatizado, no había necesidad productiva de tener funcionando la FOL3 para una fecha dada, aunque, hacia mediados de julio ya se habían programado algunas Ordenes de Producción (OPs) por parte de Supply Chain (SUCH) para exportar pallets de cuplas a Bay City que fueron resueltas con el esquema de paletizado manual que se había adoptado hasta el momento.

Las primeras OPs no requerían la Línea funcionando a su máxima capacidad, pues no solo se programaban pocas ordenes, sino que se tenía un escaso mix de productos disponibles en planta. Además, esto último generaba lógicos retrasos para terminar de configurar los parámetros a cada gama de cupla por falta de disponibilidad de las mismas para realizar las pruebas.

En el mes de agosto se decide entregar la Línea a Operaciones por dos motivos principales:

- Por un lado, el equipo de Ingeniería ya se había involucrado por completo en la segunda etapa del MP, y había una necesidad de comenzar a desligarse de la PEM de la Línea.
- Por otro lado, desde Bay City se comenzaron a solicitar OPs más grandes por los mismos productos que se venían comercializando, lo que requirió migrar algunas de estas órdenes a la FOL3.

A partir de allí, la Línea comienza a operar en 2 turnos (Turno 1 y 2), ya manejada por operarios de FACU con asistencia del equipo de AUTO. Durante las primeras 2 semanas la asistencia resulta muy intensiva para poder capacitar a los operarios y, paralelamente, continuar trabajando con las mejoras que aun habían quedado pendientes, principalmente trabajando en conjunto sobre el Nivel 2 para simplificar la interfaz usuario-maquina, pero también intentando mejorar el Tiempo de Ciclo.

3.1.2. Optimización del tiempo de ciclo

El Tiempo de Ciclo (TC) es el tiempo de pasaje entre cuplas consecutivas por la máquina crítica de la Línea. Con las primeras pruebas en vacío se realizan mediciones del TC, de las cuales resulta evidente que el

cuello de botella de todo el proceso resulta ser la celda de pintado, siendo el pórtico de pintado la máquina con menor productividad de esta celda, lo que lo convierte en la máquina crítica.

El Tiempo de Ciclo de diseño de la Línea, definido en la Nota Técnica del proveedor de los equipos es de 10 segundos. Las primeras cuplas que pasaron en las pruebas en vacío registraban un Tiempo de Ciclo de 22 segundos.

Para disminuir el tiempo de ciclo se comenzó con un arduo trabajo para optimizar aún más las trayectorias, velocidades y aceleraciones de los equipos, y reducir tiempos muertos entre secuencias. Hacia fines de julio de 2021 (semana 9), se alcanza un TC de 19 segundos, y es con ese valor que se entrega la Línea a Operaciones y Mantenimiento.

En la semana 10 la Línea comienza su producción con asistencia del equipo de AUTO mientras se optimizan los movimientos. A partir de un análisis del proveedor de los movimientos del pórtico, el equipo de AUTO implementa las mejoras estudiadas y, hacia fines de esa semana, se alcanza un TC de 16 segundos.

Durante las próximas 4 semanas, el equipo de AUTO continúa trabajando para bajar el Tiempo de Ciclo. Hacia mediados de septiembre, se había alcanzado un TC de 13 segundos que resultaba acorde a la necesidad productiva de ese momento, siendo que a ese TC el cuello de botella resultaba ser el Fosfatizado. Además, para esas fechas, los operarios de la Línea ya habían completado su capacitación y podían manejar los equipos por cuenta propia. Por estos motivos se decide dar por finalizada la asistencia diaria del equipo de AUTO y comienza un proceso netamente operativo, donde Ingeniería solo asiste cuando se procesa un producto nuevo por la Línea, cuando hay una interrupción grande por alguna rotura, o cuando se programa una Reparación Programada (RP).

A pesar de que la FOL3 no era el cuello de botella del proceso productivo al TC de 13 segundos, luego de la implementación de las mejoras del Fosfatizado, su TC se reduciría y la FOL3 pasaría a ser nuevamente el limitante. Es por esto que, en paralelo, el proveedor debió seguir trabajando para llevar el TC a valores de diseño.

En una última visita del proveedor, se ejecuta un plan de acción para reducir el TC. Se programa una interrupción de 8 horas en la Línea y se implementan las mejoras estudiadas. **Con esta configuración se alcanza un Tiempo de Ciclo final de 11 segundos.**

Junto con el equipo de Industrial Planning (INDU) se estudia el impacto operativo en la capacidad de planta luego de implementadas las mejoras del Fosfatizado al trabajar con ese TC en la Línea, y se concluye que dicho TC no tiene un impacto notorio en la productividad. Con esto último se decide aceptar el TC alcanzado y se da por finalizada la asistencia del proveedor en el proyecto.

Finalmente, es importante destacar que el TC debía ajustarse a cada Producto, por lo que, cuando se pasaba un producto nuevo por la Línea, se brindaba asistencia completa del equipo de AUTO para adaptar la programación al esquema de trabajo definido por Constantini en su última visita.

3.2. Tareas no programadas de PEM

3.2.1. Generalidades

Durante el desarrollo normal de la PEM se detectaron ciertos inconvenientes que derivaron en tareas no programadas. En esta sección se focalizará en aquellos problemas que requirieron una evaluación rápida del equipo de Ingeniería y la posterior intervención de la mano de obra provista por Techint, para solucionar estos inconvenientes y así, poder continuar con el normal desarrollo de la PEM.

Para una mayor comprensión, en la **Tabla 2** se presenta el cronograma de intervenciones a modo de comprender la cronología y la forma de atacar problemas en conjunto aprovechando cada corte energético. La explicación de cada problemática se segrega por secciones según la celda de la Línea a la que pertenecen, y no según el orden cronológico en que ocurrieron las tareas.

Fecha	Comentarios
7-jun	Inicio de PEM FOL3
14-jun	Detección de ruido en el eje X del pórtico
17-jun	Intervención 1: Quita de oxido en eje X. Desmontaje del servo del robot de pintado. Llenado de la cortina de agua.
22-jun	Intervención 2: Montaje de servo de robot de pintado. Carcasa del motor de la mesa giratoria celda de terminación. Quita de oxido y lubricación de topes de cadena de paletizado, cremallera Z del pórtico, patines y guías. Distensionado de cañerías en cabina de pintura
29-jun	Suplementado de placa de mesa giratoria de franjeado.
2-jul	Primeras pruebas de pintado exitosas
6-jul	Se traba el eje Z del pórtico. Detección de interferencia con cuplas chicas en terminación.
7-jul	Comienza obra civil para el montaje de pluma de carga.
8-jul	Intervención 3: Falla servo del eje Z del pórtico.
15-jul	Intervención 4: Reemplazo del servo del eje Z del pórtico
19-jul	Montaje mecánico de la pluma
22-jul	Queda operativa la pluma de carga
27-jul	Intervención 5: Descalce de cadena de paletizado
2-ago	Purgadora + emboque de tachos en TAME
7-ago	Intervención 6: Cambio de cremallera eje Z, elevación de cadena de salida, colocación de peines
11-ago	Entrega de la Línea a Operaciones
19-ago	Intervención 7: Rotura reductor del eje X del pórtico. Deformación de eslabones de la cadena del horno.
20-ago	Montaje del reductor reemplazo. Enderezado de eslabones
24-ago	Cambio de mangueras en celda de terminación
1-sep	Prueba de cestas en doble camada
8-sep	Instalación soporte de cestas
10-sep	Rotura del servo del empujador de la mesa de entrada de cuplas
14-sep	Intervención 8: Montaje del servo del empujador
20-sep	Reenderezado de eslabones del horno
23-oct	Rotura del eje del reductor del empujador de la mesa de entrada de cuplas
27-oct	Intervención 9: Montaje de eje y piñón refabricados del empujador
28-oct	Se alcanza un TC de 11 segundos, TC actual de la Línea.
4-nov	Rotura del eje del piñón del eje Z del pórtico
5-nov	Intervención 10: Montaje del eje refabricado
8-nov	Reemplazo del servo del robot de pintado y recableado de enconder
29-nov	Prefabricado de agarradera de tachos de pintura
1-dic	Intervención 11: Montaje de cañería para desagote de cabina.
7-dic	Desmontaje de la grueta de carga de FOL1 que será montada como carga de FOL3
24-mar	Intervención 12: Montaje de la grueta de carga para la mesa de entrada de cuplas
25-mar	Montaje de la grueta de carga para la mesa de entrada de cuplas

Tabla 2: Resumen de la PEM de FOL3.

3.2.2. Celda de pintado

3.2.2.1. PEM Cabina de contención de pintura

Una de las tareas que trajo retrasos en la PEM de la Línea fue la puesta a punto de la cabina de contención de pintura. Este equipo consiste en una estructura de chapa galvanizada que permite captar la pintura remanente del proceso de pintado exterior mediante una cortina de agua.

La cabina está diseñada para que, una vez llena, el agua recircule. Para esto cuenta con una bomba que toma el agua desde el inferior después del filtro, y la impulsa por un troncal ascendente hasta la parte superior. El circuito de agua puede comprenderse con mayor facilidad a partir de la **Fig. 11**.

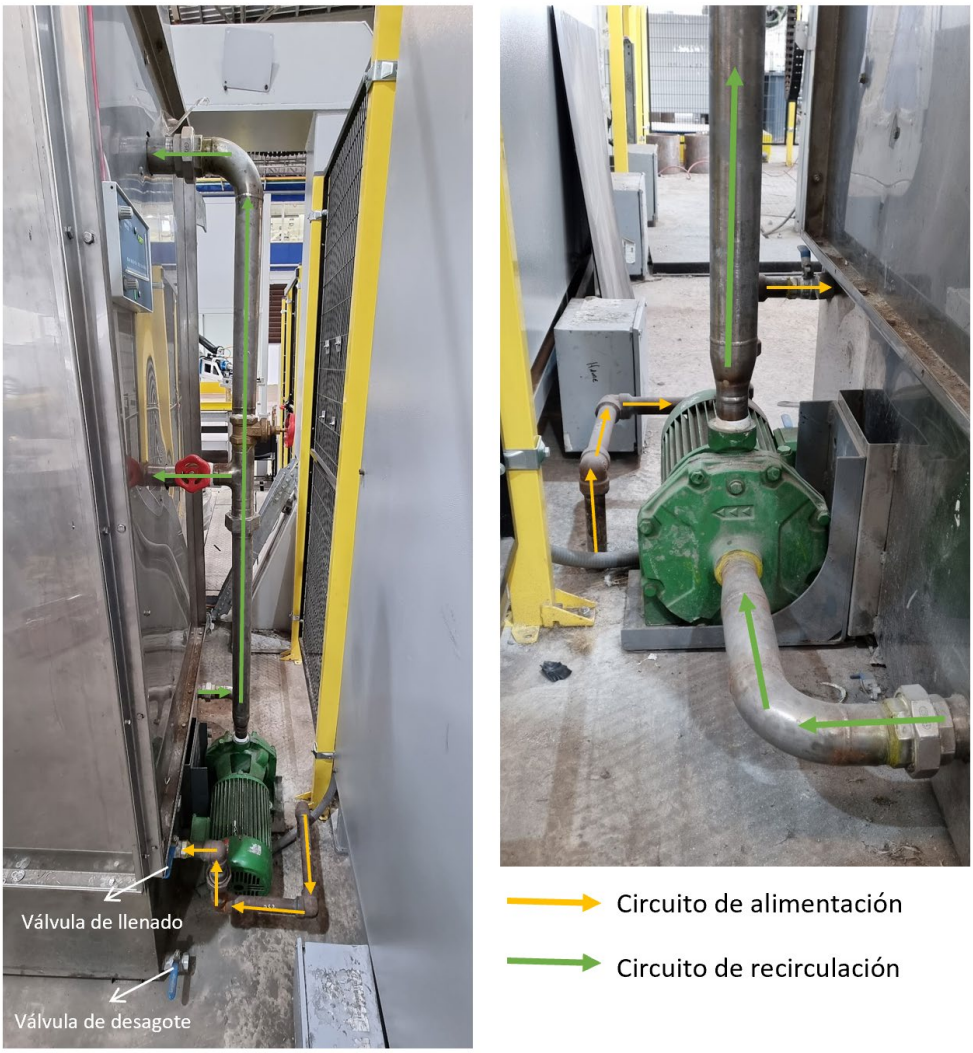


Fig. 11: Circuitos hidráulicos de la cabina de contención de pintura.

En la primera prueba de funcionamiento de la bomba notamos que el motor gira hacia el lado contrario, por lo que se invirtieron las fases.

Al abrir la válvula de agua para el llenado, se evidenciaron otros dos inconvenientes. Por un lado, se pudo observar que el agua comenzó a salir con un color negro debido a la suciedad acumulada en el circuito de red hidráulico, sumado al polvo presente en el interior de la cabina (como se muestra en la **Fig. 12**). Para resolver este problema se debió contratar un camión atmosférico, es decir, un camión bomba utilizado para extraer el líquido de la cabina hasta lograr que el agua que ingresa este completamente limpia, dado que la cabina no cuenta con un sistema de desagote.

Fig. 12: Primera prueba de llenado de agua de la cabina.

El otro inconveniente que surgió es que, una vez llena de agua limpia y probada la cortina, pudo notarse ciertas perdidas en la junta de succión del tramo de aspiración de la bomba (del circuito de recirculación). En una primera instancia, lo que se decidió es desarmar por completo el circuito y reforzar todas las juntas con sellador de rosca para evitar las perdidas. Una vez realizada esta acción, se volvió a armar el sistema y se puso en marcha nuevamente, notando que las pérdidas ahora se presentaban en las juntas de entrada y salida de la bomba.

Ya desde el instante en que se desarmo el sistema se pudo notar que las cañerías estaban mal dimensionadas, principalmente el tramo ascendente posterior a la bomba, lo que provocaba que el sistema quede tensionado y generaba esfuerzos en las juntas que derivaban en las perdidas visualizadas, además de una dificultad excesiva a la hora de rearmar el circuito. Por este motivo se decidió refabricar el tramo de cañería ascendente y suplementar la base de la bomba, lo que redujo las tensiones del sistema considerablemente y permitió mitigar las fugas.

De este inconveniente surgió una oportunidad de mejora. Dado que la cabina no cuenta con un sistema de vaciado, se diseñó un circuito de cañerías para instalar en la boca de desagote a nivel del suelo que permita llegar hasta un acople rápido para facilitar la conexión de la manguera de succión del camión atmosférico por fuera de la Línea, evitando así una interrupción operativa para realizar el desagote.

3.2.2.2. Suplementado, quita de oxido y lubricación del pórtico de pintado

Ya desde las pruebas manuales se pudo notar que el pórtico de pintado presentaba varios problemas operativos. Para describirlos, primero se hará una breve introducción a su funcionamiento y nomenclatura.

En la **Fig. 13** se muestra el pórtico de pintado y se visualiza la nomenclatura adoptada para describir las direcciones de movimiento, donde podemos ver que el eje X es el movimiento de traslado desde la mesa giratoria hasta la cadena del horno, y el eje Z representa la carrera ascendente y descendente de toma y descarga de las cuplas, respectivamente. Como se ha explicado anteriormente, el pórtico toma las cuplas siempre desde la misma posición y las va descargando sobre la cadena del horno en las 3 posiciones disponibles. Una vez completa la línea de 3 cuplas, la cadena del horno avanza una posición (aproximadamente 300mm) y el pórtico reinicia su ciclo.

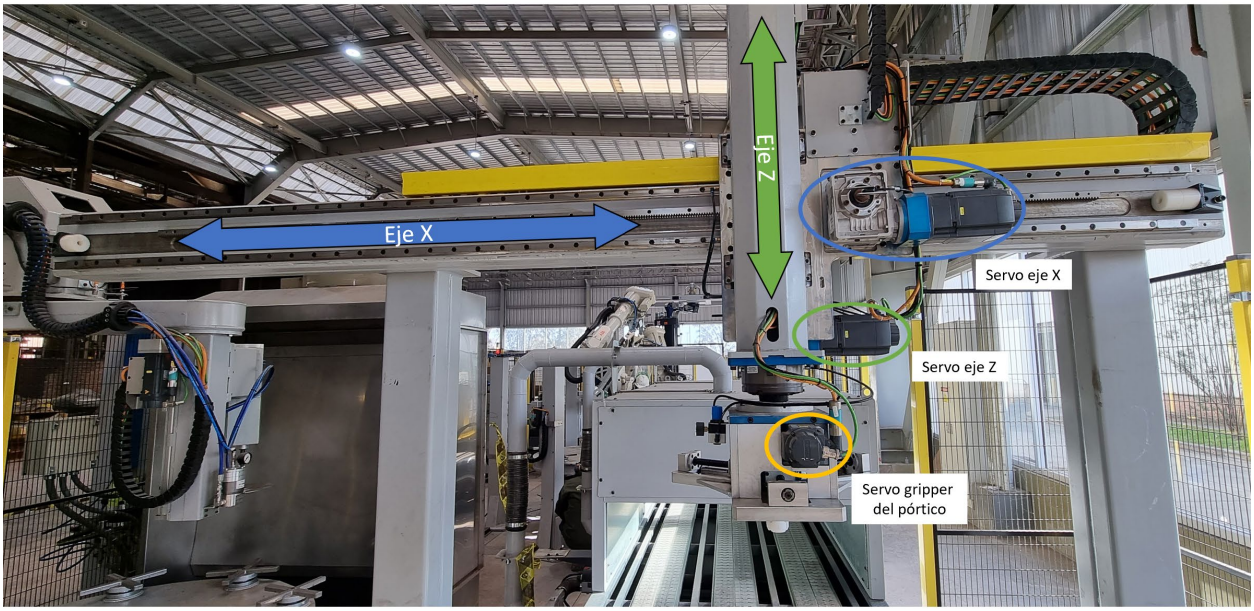


Fig. 13: Descripción del pórtico de pintado exterior.

En los primeros movimientos manuales, pudo detectarse que el pórtico se trababa al realizar su carrera en la dirección **+X** y directamente presentó un enclavamiento en la dirección **-X** (no se movía). Por otro lado, los movimientos en la dirección **Z**, en ambos sentidos, podían realizarse, pero de manera intermitente y ruidosa.

En un principio, se evaluó el funcionamiento de los servomotores acoplados que realizan los movimientos en ambas direcciones y se encontró que uno de los cables de señal del eje **X** se encontraba dañado. Dado que los cables de señal no pueden soldarse, se procedió a realizar el cambio de todo el cable, el cual era tendido desde la sala de tableros hasta el pórtico, por lo que se debió suspender las tareas de PEM.

Una vez cambiado el cable, se suprimió el enclavamiento en la dirección **-X**, pero aun así el pórtico continuaba presentando movimientos intermitentes en ambas direcciones. Se continuaron las pruebas hasta descartar por completo que se tratara de un problema eléctrico.

Mediante inspección visual pudieron detectarse 2 posibles causas del problema: tanto en los guías de los patines como en la cremallera de ambos ejes podía visualizarse una importante capa de oxido y suciedad (ver **Fig. 14**), mientras que también se pudo observar la falta de lubricación en todo el sistema.

Fig. 14: Oxido y suciedad en cremallera, guías y patines del pórtico.

En cuanto a la lubricación, el pórtico cuenta con un sistema autolubricante que consta de un cartucho de grasa que lubrica tanto las partes móviles de los servos como las cremalleras y los patines. Al notar que el sistema de lubricación no se encontraba actuando, se revisó el cartucho de grasa y se observó que el sistema se encontraba roto (probablemente debido a algún golpe). Se solicitó al proveedor un repuesto del mismo que demoro un día en llegar a planta.

Aun con el sistema de lubricación puesto en marcha, debía quitarse el óxido que impedía tener un movimiento continuo y generaba un desgaste excesivo en las piezas mecánicas. Para esto se procedió a lijar las superficies conflictivas hasta remover por completo el óxido, y posteriormente aplicar un aceite lubricante en aerosol a base de teflón que presenta buenas cualidades para evitar la adherencia de suciedad. Con estas soluciones se logró mayor control en los movimientos y velocidad continua en ambos ejes.

Una vez que el pórtico estaba en correcto funcionamiento, se probó el movimiento del mismo con cuplas y surgieron nuevos inconvenientes. En primer lugar, dado que el pórtico no cuenta con un eje **Y**, y que las columnas ya se encontraban fijas, se debió suplementar el mismo en la unión entre las columnas y el eje **X**, con motivo de alinear dicho eje con la posición del plato magnético de la mesa (en la toma de cuplas), y la cadena del horno para la descarga. Esta tarea requirió todo un turno de intervención con asistencia de grúa, dado que se debió desacoplar todo el eje **X** del pórtico, mantenerlo como carga suspendida hasta colocar los suplementos, y luego volver a abulonarlo. En la **Fig. 15** se muestra la zona de suplementado.

Fig. 15: Suplementado del pórtico.

3.2.2.3. Adaptaciones en gabinete de entrada y sistema de visión

Durante las pruebas con cuplas se detecta una interferencia de la cabina de visión del sistema de ingreso de cuplas al intentar cargar cuplas grandes (9 5/8"). Para corregir este problema es necesario agrandar la ventana de ingreso. En la **Fig. 16** se muestra una comparativa de la ventana original y posterior a la modificación. Este cambio trajo aparejado la necesidad de mover la barrera laser de seguridad instalada para proteger a los operarios ante la carga de cuplas con el manipulador cuando está trabajando el empujador, además de tener que reconfigurarla.

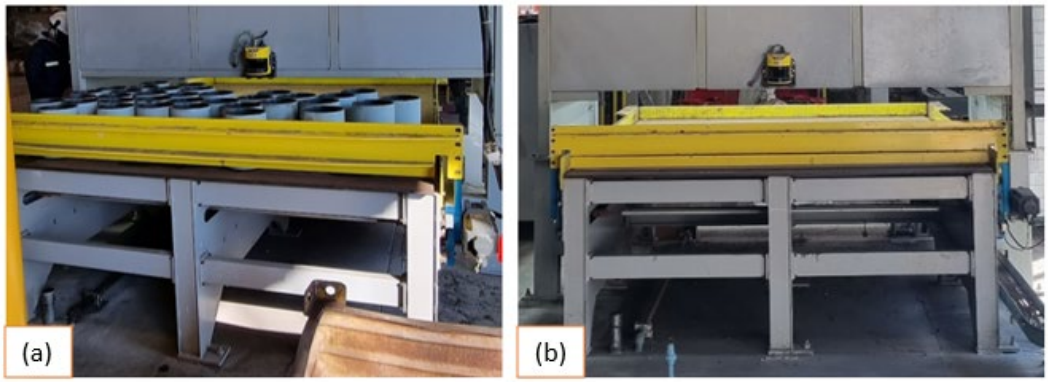


Fig. 16: Gabinete de entrada de cuplas previo (a) y posterior (b) a la modificación.

Otro inconveniente detectado en el sistema de visión es que, dado que las paredes laterales de la Nave están construidas con mucho ventanal para mejorar la iluminación, durante determinada franja horaria del día (y mayormente los días de mucho sol), el sistema de cámaras detectaba inconvenientes a la hora de ubicar las cuplas, lo que provocaba una mala interpretación del robot a la hora de ir a buscar una cupla para cargarla en la mesa giratoria de 8 husillos. En la **Fig. 17** se muestra una imagen representativa.

Fig. 17: Visualizador de cámaras de detección de cuplas en mesa de entrada.

Este inconveniente fue solucionado desde la programación de las cámaras, variando los parámetros de nitidez. Además, debió instalarse otras luces adicionales dentro de la campana (**Fig. 18**) y acordarse con Operaciones el incluir una Practica Operativa (OPP) para mantener la mesa de ingreso de cuplas limpia para evitar falsas detecciones cuando se realizan reprocesos. Dado que no se requiere una intervención mecánica para solucionar estos inconvenientes se decide no detallar sobre el tema.

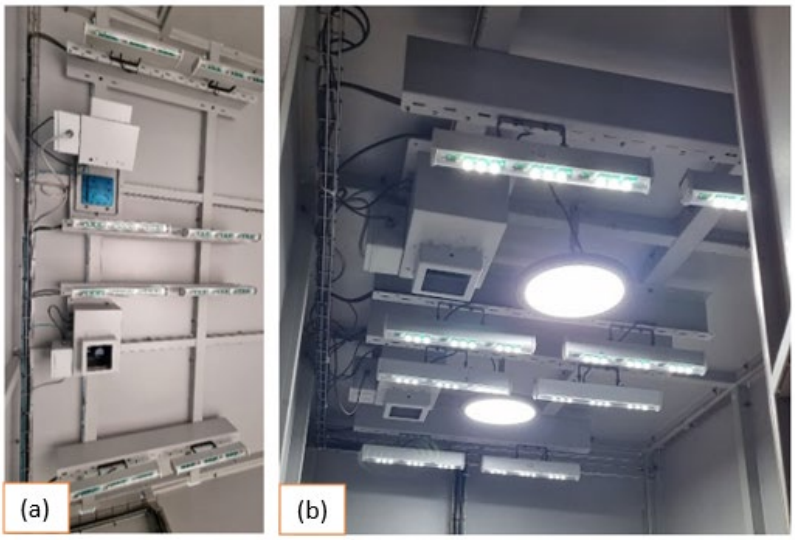


Fig. 18: Sistema de iluminación del gabinete, previo (a) y posterior (b) a la modificación.

3.2.2.4. Adaptaciones del depósito de pintura

En la **Fig. 19** se muestra una representación del depósito de pinturas de pintado exterior. En la misma se observa que este equipo cuenta con disponibilidad para ubicar 3 recipientes de pintura y uno de solvente.

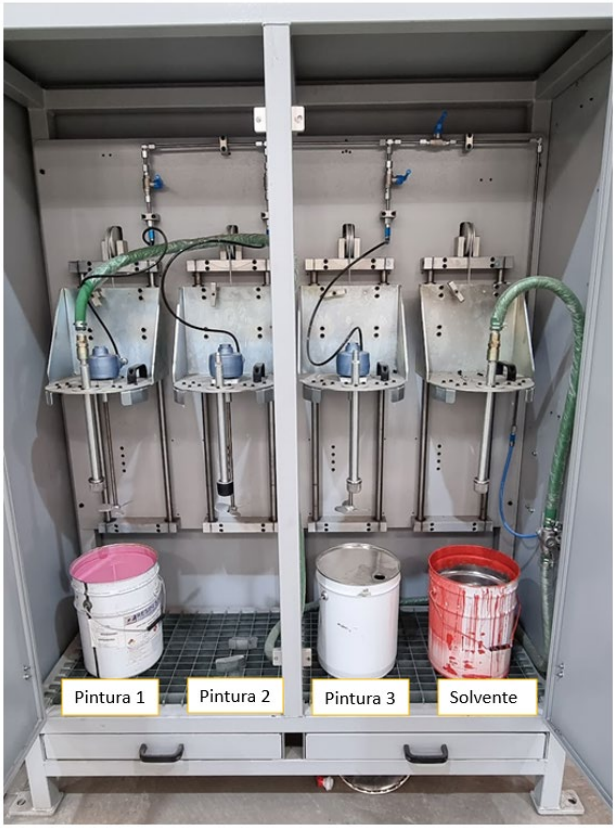


Fig. 19: Depósito de pinturas para pintado exterior.

La selección de pintura/solvente se realiza mediante una bomba selectora con regulación de presión. Para elegir el recipiente desde donde se toma la pintura se desacopla/acopla la manguera en su conector con la tapa elevadora. Estas tapas tienen la posibilidad de elevarse manualmente para poder cambiar la lata, dado que cuentan con un sistema de polea, cable de acero y guías. A su vez, cada tapa cuenta con un agitador mecánico vinculado a un motor neumático, que es usado para mezclar la pintura. En el caso del recipiente de solvente se omite la presencia de un agitador debido a la homogeneidad de la mezcla.

El primer inconveniente que se detectó al realizar las primeras pruebas con pintura es que los agitadores resultaban de mayor longitud que la altura de los tachos de pintura (**Fig. 20.a**), lo que ocasionaba que, al bajar las tapas para comenzar la mezcla y succión de pinturas, la parte inferior del agitador golpeaba contra el fondo del recipiente antes de que la tapa alcance el final de su carrera descendente. Este inconveniente no pudo resolverse hasta 2 días posteriores a las pruebas realizadas por falta de recursos mecánicos para realizar las adaptaciones, que básicamente consistieron en recortar los vástagos del agitador unos 200mm. Para evitar discontinuar las pruebas de pintura se recurrió a una solución provisoria como la mostrada en la **Fig. 20.b**.

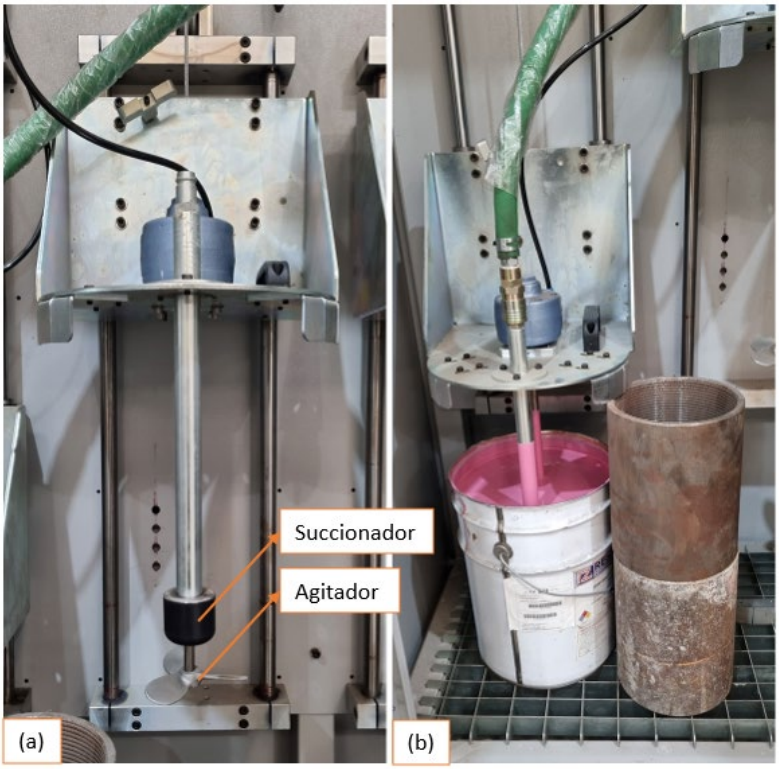


Fig. 20: Tapa móvil de los recipientes de pintura: (a) Visualización del problema; (b) Situación provisoria para no interrumpir las pruebas

La intervención para el recorte de vástagos se aprovechó para realizar otras modificaciones en el depósito de pintura exterior, como el agregado de un dispositivo para el centrado de los recipientes de pintura en la base, construido con perfiles de acero en "L" soldados al pres lock.

Para las dos tareas presentadas anteriormente, además de los cortes energéticos para intervención de Techint, debió realizarse una intervención del personal de limpieza para quitar todos los restos de pintura remanentes de los equipos a cortar/soldar, debido a la inflamabilidad de la pintura utilizada.

3.2.2.5. Problemas de sobretorque en el gripper del robot de pintado

Ya desde las primeras pruebas con cuplas en automático, se detecta un problema recurrente en el robot de pintado: al torque indicado por el proveedor, e incluso a valores superiores, se caen cuplas de 7".

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto sufrió varios cambios de alcance durante su etapa de Ingeniería. Inicialmente, se definió que el robot de pintado iba a ser un robot Kuka en vez del ABB que está instalado. Al definir el robot Kuka, se compró un servomotor apto para ese robot. Luego, al cambiar al robot ABB, se mantuvo el servo que se había adquirido y se compraron los controladores Siemens correspondientes para utilizarlo igualmente. Por este motivo el servo del robot de pintado resulta más chico que el servo del pórtico (menor potencia).

Para evitar las caídas de cuplas primero se intenta bajar las aceleraciones y suavizar trayectorias, optimizándolas para cada modelo de cuplas. Dado que esto no resultó suficiente, se procede a aumentar el torque llevándolo hasta el máximo permitido por el fabricante. Aun con estas modificaciones, se continuaron registrando caídas de cuplas durante el desarrollo de la PEM.

Se define que la problemática, entonces, se debe a la compatibilidad del servo Kuka con el módulo de potencia seleccionado. Esto es porque el servo Kuka está limitado y no puede alcanzar los niveles de potencia definidos, o lo que es equivalente, el torque seteado.

Se plantea el cambio del servomotor por uno igual al del gripper del pórtico. Con este cambio es necesario reemplazar el cable de "resolver" por uno de encoder, así como la placa protectora de los conectores. Dado que en Ingeniería se cuenta con ambos y que el proveedor cuenta con un servomotor Siemens de repuesto, este cambio se realiza en relativamente poco tiempo si lo comparamos con los plazos de entrega de Siemens. La intervención para hacer esta modificación se lleva a cabo el día 08/11/2021.

Aun después de realizada esta intervención la caída de cuplas seguía siendo un hecho, junto con algunas fallas por sobretorque. Comienza a estudiarse el mecanismo para descartar algún problema mecánico, y finalmente se encuentra la causa principal que generaba estas interrupciones. Para comprenderlo, se explica brevemente su funcionamiento.

En la **Fig. 21** se observa el gripper del robot de pintado. El servomotor entrega energía mecánica al eje de entrada de la caja reductora. A este eje se acopla un piñón cónico que conduce 3 engranajes, cada uno con su correspondiente eje vinculado a un tornillo sinfín. Cuando el tornillo sinfín rota, las cajeras de las garras describen un movimiento de traslación en la dirección del mismo, forzado por los patines inferiores. Estas cajeras poseen un sistema interno de resorte para absorber el esfuerzo de sobretorque al tomar la cupla, es decir que el resorte interno se comprime la misma distancia que se requiere para lograr un agarre efectivo de la cupla luego de realizar el contacto con las garras.

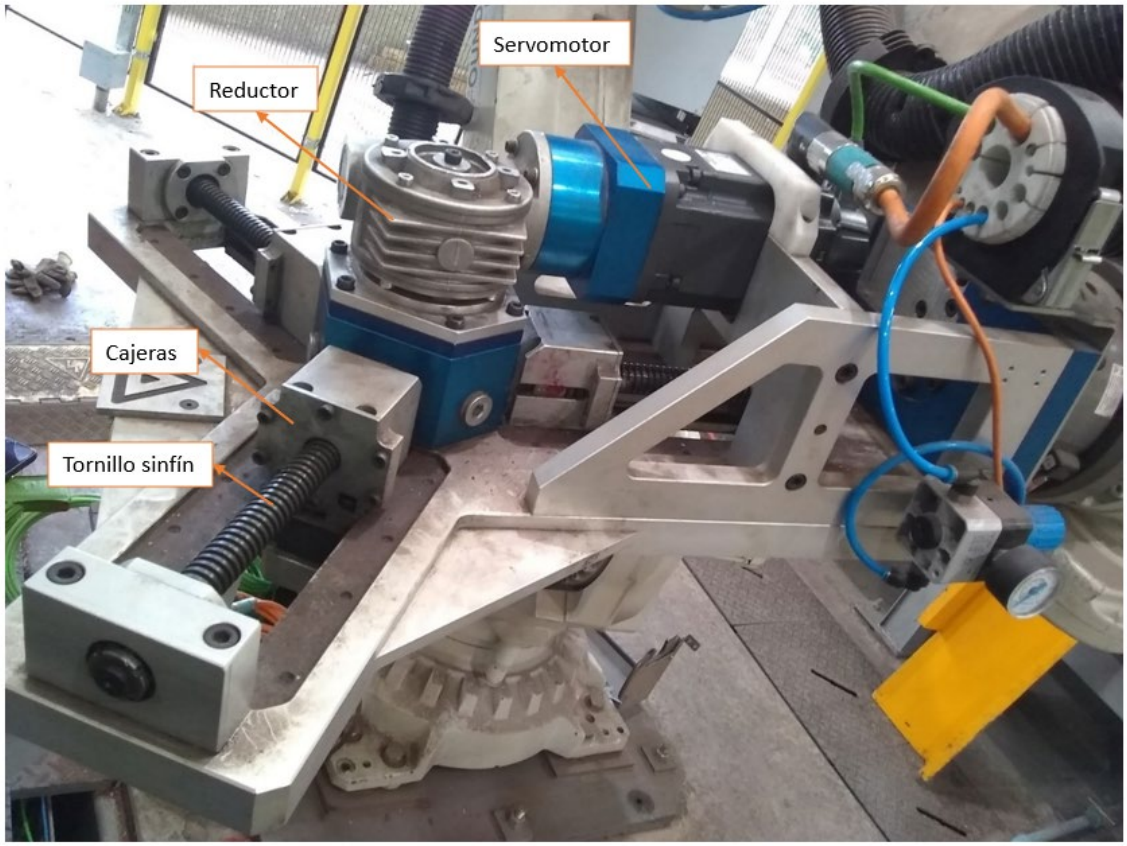


Fig. 21: Gripper del robot de pintado.

En la **Fig. 22** puede observarse con mayor detalle las cajeras del gripper. Al abrir este conjunto pudo notarse que, cuando se accionaba el mecanismo, el mismo resorte golpeaba contra la parte interna de la carcasa, frenando el movimiento antes de lo deseado y, por lo tanto, evitando que las garras se cierren la distancia requerida para el agarre.

Fig. 22: Cajeras del gripper de pintado exterior.

El servomotor del gripper de pintado trabaja por torque, es decir, cuando se mide en el eje del servo el torque de umbral para un buen agarre, el sistema se frena. Debido al rozamiento interno del resorte con la

carcasa, las cajeras se frenaban antes de lo requerido, por lo que el servo interpretaba que había llegado al torque deseado. Este problema fue difícil de encontrar en este servo, pero una vez identificado, sirvió para comprender las fallas que también se registraban en el gripper de terminación (Sección 3.2.3.3), el cual trabaja de forma similar.

Esta problemática se resuelve con una intervención programada para desarmar cada cajera y cambiar el resorte interno y las arandelas por otras piezas más pequeñas que seguían cumpliendo la misma funcionalidad.

Luego de esta intervención, el gripper queda operativo sin presentar mayores inconvenientes. Aun así, adicionalmente se prevee cambiar el material de las garras del gripper dado que presentaban un desgaste excesivo cuando se manipulaban cuplas grandes. Como alternativa se propone un material de mayor dureza y un cambio de diseño en las garras, agregándole algún tipo de grip para aumentar el coeficiente de roce estático y mejorar el agarre.

En la **Fig. 23.a** y **Fig. 23.b** se muestran las garras originales y las de reemplazo, respectivamente. El material original de las garras es delrin blanco (dureza 70 shore A). Las garras nuevas fueron fabricadas con Poliuretano (dureza 85-90 shore A), material que presenta mayor resistencia al desgaste y un límite elástico superior respecto al delrin, a lo que, en principio, resultaría más apto para la aplicación. Cabe destacar que se evaluaron otras alternativas, pero se decidió optar por el poliuretano dada su buena maquinabilidad y disponibilidad en el mercado local.

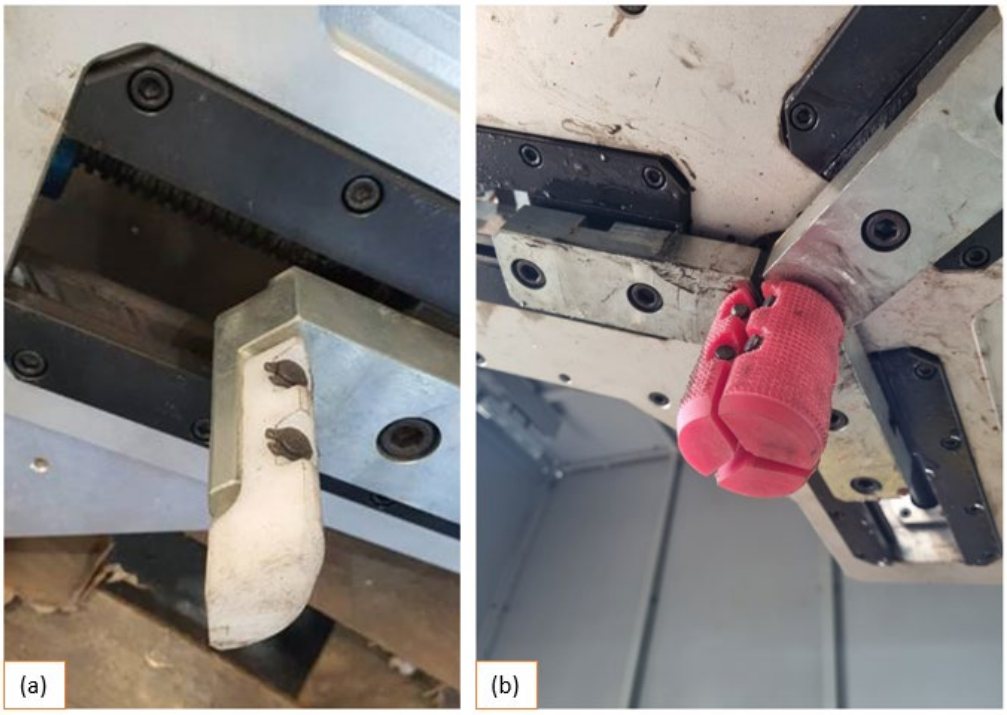


Fig. 23: Garras del gripper de pintado exterior: originales (a) y rediseñadas (b)

En la **Fig. 23.b** puede observarse el moleteado realizado a la superficie de contacto con la cupla. Este mecanizado permite aumentar el coeficiente de fricción estático entre la cupla y las garras, pero también encareció el costo del producto. Aun así, su desempeño resultó mejorar la caída de cuplas, por lo cual, desde Operaciones decidieron reemplazar los dedos del gripper del pórtico por el mismo rediseño.

3.2.2.6. Inconvenientes con el eje Z del pórtico de pintado

Servo dañado

Con las primeras pruebas de PEM del pórtico se detecta una intermitencia en el movimiento a la hora de realizar las carreras ascendentes y descendentes (eje **Z**) para la toma y descarga de cuplas de la mesa de 8 husillos y el horno. La tercera semana de PEM se realizó una intervención para limpiar, quitar óxido y lubricar la cremallera del eje **Z**, los patines y guías, tal como se explicó en la Sección 3.2.2.2**.** Aun así, dos semanas después comenzaron nuevamente las intermitencias en este eje al continuar probando movimientos.

Se programa otra intervención para el 08/07/2021 (en la semana 5) para revisar este eje. En una primera instancia se desacopla el piñón y se hacen correr los patines para descartar que sea un problema mecánico. También se revisa el cartucho de aplicación de grasa y se encuentra que está trabajando correctamente. Luego se desacopla el reductor y se intenta girar en vacío, encontrando que el mismo se encuentra clavado.

Con todo esto se actúa de manera rápida para buscar una solución: en primer lugar, se pide a Constantini un servo de repuesto para poder continuar las pruebas. El servo reemplazo llega una semana después (el 15/07/2021) y es montado y puesto en marcha ese mismo día. Durante este periodo de espera se suspenden las pruebas y tareas de PEM en la celda de pintado y se continúa avanzando con las celdas de terminación y paletizado.

Por otro lado, el servo extraído de la Línea es enviado al TAEL (Taller Eléctrico de Siderca) para realizar un diagnóstico de falla por un proveedor externo, y una posterior reparación. El informe del diagnóstico de falla realizado al servo llega el 16/07/2021 con los siguientes comentarios:

"El servomotor presenta daño en Freno por exceso de fricción en condición dinámica. Posible causa de esto es falta de alimentación en bornes del Freno, ya sea por problemas de fuente o cable cortado y otra posibilidad es que la alimentación aportada al mismo fuese de polaridad invertida".

Se solicita la reparación del servo al mismo proveedor que realiza el análisis de falla. El mismo llega reparado el día 26/08/2021 y queda como repuesto crítico de la Línea. En cuanto a la falla, se revisan los cables de potencia y señal del servo, encontrando que uno de los últimos se encuentra dañado y haciendo "falso contacto", lo que podría haber ocasionado las perdidas en el reductor. Al igual que lo ocurrido con el cable de señal del eje **X**, se programa una intervención para cambiarlo.

Cambio de cremallera

Con el servo nuevo funcionando correctamente, el día 05/08/2021 (4 días previo a la entrega de la Línea) ocurre una nueva falla en el eje **Z** del pórtico: durante las pruebas por bajar el Tiempo de Ciclo, el pórtico pasaba cuplas de la mesa giratoria a la cadena del horno, dejando una en cada posición hasta completar las 3 hileras de cuplas, lo que habilita la cadena a avanzar una posición. En un momento dado, debió reiniciarse la configuración del pórtico y el mismo "olvido" que ya había dejado una cupla en determinada posición. En su carrera descendente para dejar la cupla cargada en la posición ya ocupada, ambas cuplas colisionaron y se produjo la rotura de la cremallera vertical y del piñón. En la **Fig. 24** se presenta el sistema descripto.

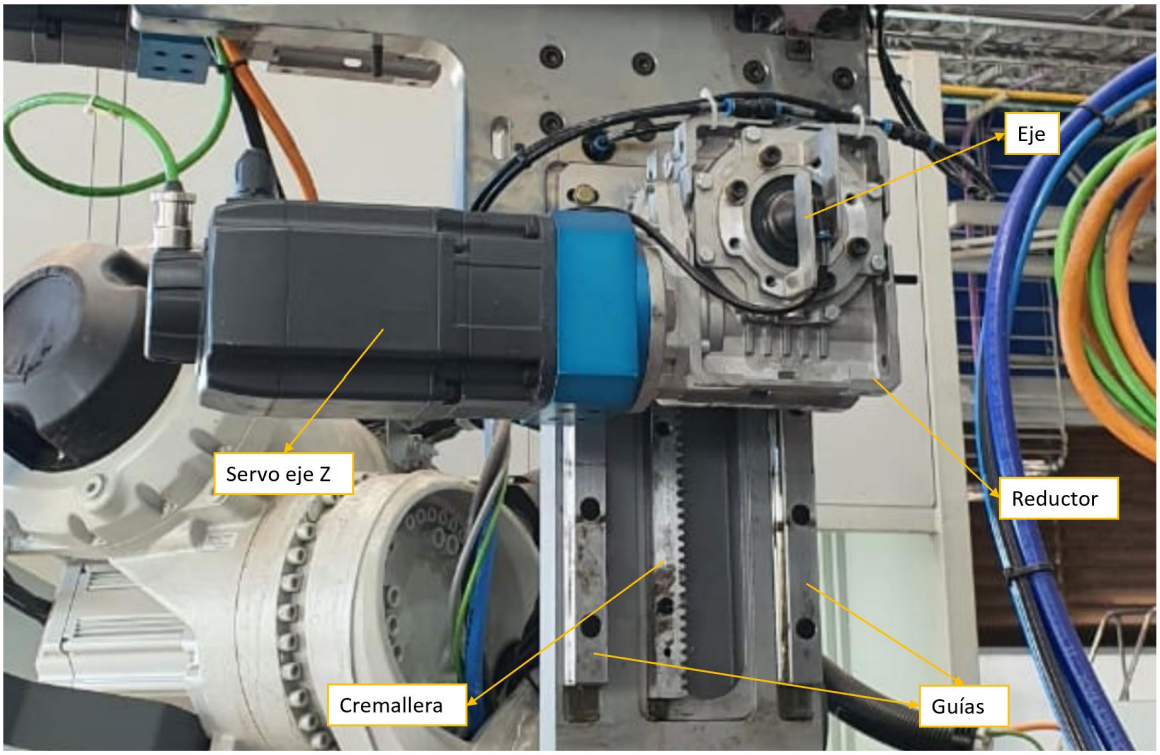


Fig. 24: Sistema de empuje vertical del pórtico de pintado.

Tanto el eje del reductor como el piñón y la cremallera son comerciales marca Gudel, pero al ser importados los tiempos de provisión son muy extensos. Dado que en las instalaciones del proveedor se contaba con repuestos del piñón y la cremallera, se puede agilizar el cambio programando una intervención 2 días después de la rotura.

En esta colisión, además de la rotura de la cremallera, se produjo una deformación en algunos eslabones de la cadena del horno, sobre la cual se profundizará en la Sección 3.2.2.8.

Rotura eje del piñón del servomotor

El día 04/11/2021, ya con la Línea trabajando netamente operativa ocurrió un accidente que derivó en la rotura del eje del piñón que moviliza el carro del pórtico en sentido vertical (eje **Z**). En el movimiento descendente de la tapa para realizar el pintado de cuplas, se desenrosco el vástago y quedo dicha tapa pegada a la parte superior de la cupla. Cuando la cupla llegó a la posición de toma del pórtico en la mesa giratoria, el pórtico descendió para tomar la cupla y el gripper golpeó contra dicha tapa, ocasionando la rotura mencionada. En la **Fig. 25** se presenta el eje del piñón roto.

Fig. 25: Eje del servomotor roto.

A su vez, también resultó en un leve daño en la cremallera, donde se puede observar un rallado de algunos dientes en la **Fig. 23**. Sin embargo, esto no influyó en la operatoria normal de la misma, solamente se sopleteo la viruta y quedó operativa.

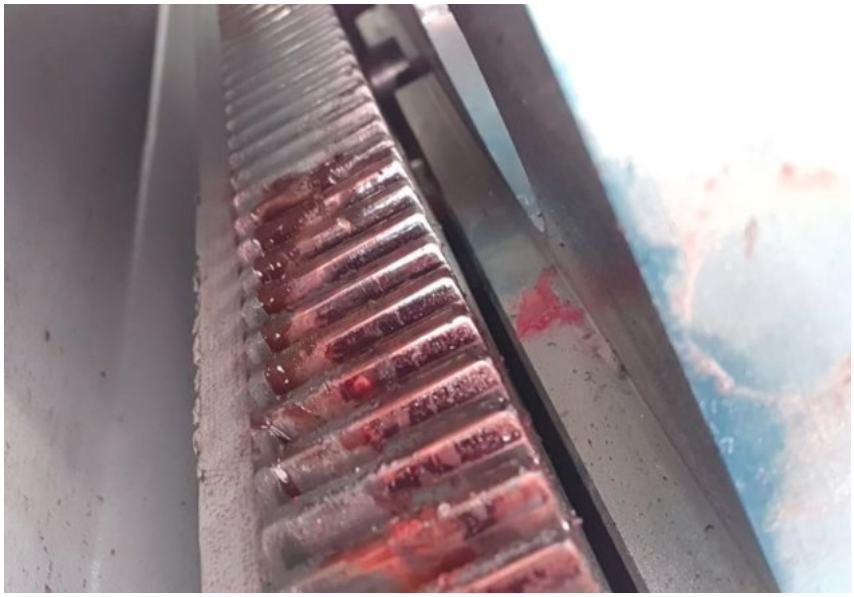


Fig. 26: Daños en la cremallera.

Al momento del impacto no salto ninguna protección, a pesar de que en ese punto de la trayectoria la velocidad es muy baja. En la **Fig. 27** se presenta la superficie de fractura a ambos lados del eje. Si evaluamos la falla notamos una fractura frágil que se origina en el cambio de sección y se extiende hasta la cavidad para la chaveta.

Fig. 27: Superficie de fractura del eje del servomotor.

Si observamos el eje, y más aún al revisar el plano, notamos un error de diseño al encontrar que los cambios de sección no poseen radio de acuerdo, motivo por el cual se tienen elevados concentradores de tensión que producen tensiones localizadas superiores a la fluencia del material, generando plastificación localizada y aumentando el riesgo de rotura por fatiga. Por otro lado, el material con el cual fue construido el eje es un SAE1045, el cual presenta una alta dureza y resistencia mecánica por su alto contenido de carbono, lo cual explica la fractura frágil.

Se rediseñó el eje agregándole radios de acuerdo de 5 mm y modificando levemente la posición de la ranura del chavetero, sin afectar la funcionalidad de la pieza. Con este nuevo plano realizado a mano, se solicitó al Taller Mecánico de Siderca (TAME) refabricar el eje. Además, se pidió cambiar el material por un SAE4130, el cual presenta mejores propiedades mecánicas y un límite de fluencia superior debido a su refuerzo con Cromo/Molibdeno, y una menor fragilidad por su contenido de Carbono más bajo. El eje fue fabricado en el día y fue instalado en la Línea al día posterior a la falla.

3.2.2.7. Rotura del servo eje X del pórtico de pintado

En una de las visitas del proveedor (semana 12), mientras se realizaban pruebas para bajar el tiempo de ciclo del pórtico de pintado, surgió un grave inconveniente que generó más retrasos en los tiempos de inicio de producción. Lo que sucedió es que se configuró una velocidad excesiva del eje **X** del pórtico, combinado con una baja desaceleración al llegar al llegar hacia la cadena del horno, lo que provocó que el final de carrera eléctrico no detecte la posición de pasada del pórtico y derivó en un impacto contra el tope mecánico a una velocidad excesiva. Esto ocasionó la rotura de la carcasa del reductor del servomotor, según se visualiza en las imágenes de la **Fig. 28**.

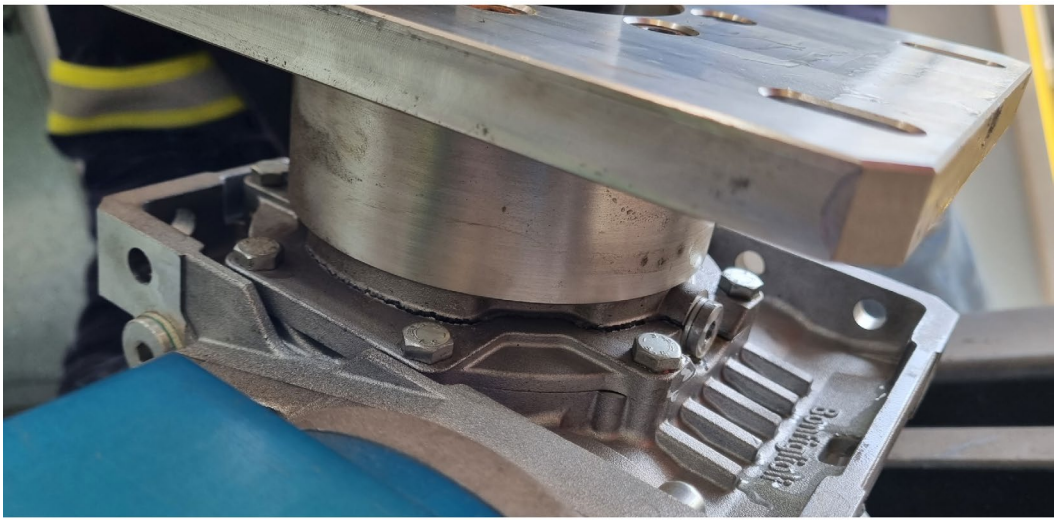


Fig. 28: Rotura de la carcasa del reductor.

Al romperse la carcasa, la cual estaba vinculada mediante bulones al eje **Z** y todos sus componentes, se provocó una desalineación del eje del reductor respecto a la misma carcasa (ver **Fig. 29**), lo que derivó en un contacto entre los dientes del piñón y la guía inferior del mismo eje **X**, según se visualiza en la **Fig. 30**. Como puede verse, este contacto no era continuo sino intermitente debido a la desalineación del eje del reductor dada por el propio peso del motor, y trajo como consecuencia el arranque de viruta tanto de los dientes del piñón involucrados en el contacto, como de los componentes del pórtico afectados.

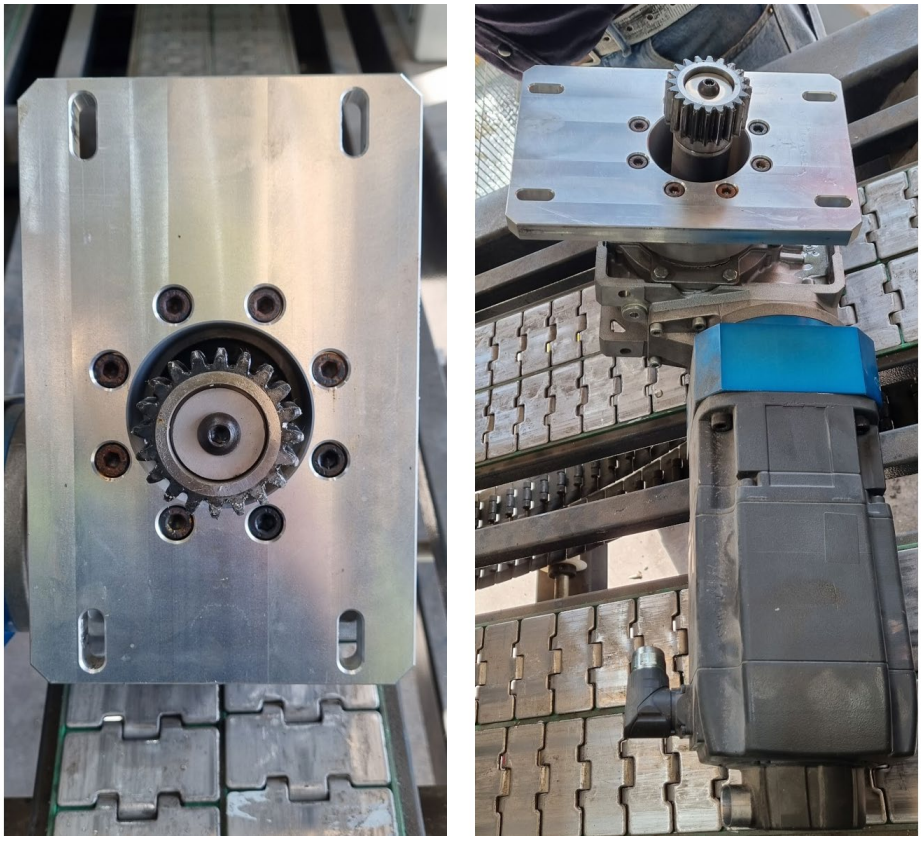


Fig. 29: Desalineación del eje del reductor.

Fig. 30: Contacto del piñón con el pórtico a causa de la rotura.

La rotura del reductor del servomotor del eje **X** produjo un día de retraso en la PEM. Este tiempo resulto relativamente poco comparado con las dimensiones del inconveniente, dado que en las instalaciones del proveedor contaban con un servomotor y reductor de las mismas características que el que falló.

3.2.2.8. Inconvenientes con la cadena del horno

Como se mencionó en la Sección 3.2.2.6, luego de la colisión vertical que ocurrió cuando el pórtico bajo cargado sobre otra cupla que estaba en la cadena del horno, el eslabón que estaba debajo se deformo, ocasionando recurrentes descarrilamientos de la cadena. En la **Fig. 31** puede verse tanto el eslabón deformado como los descarrilamientos que causaban interrupciones de la PEM.

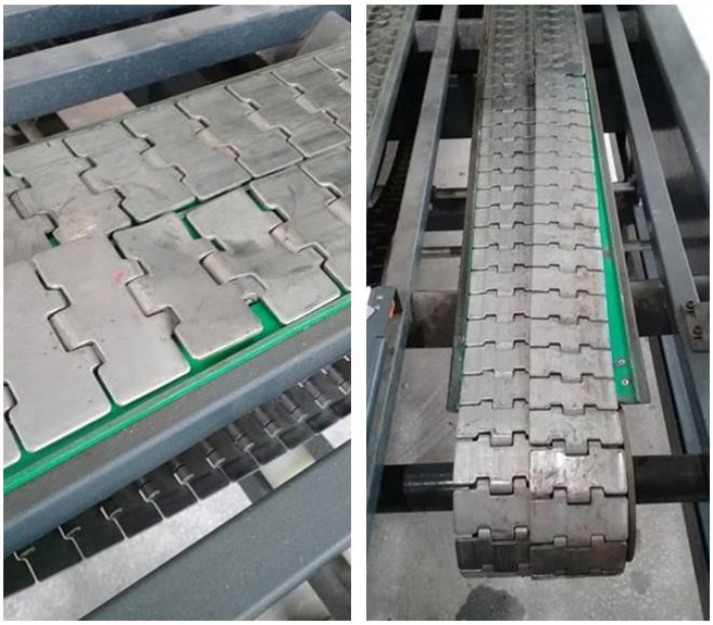


Fig. 31: Eslabón deformado y descarrilamiento de cadena.

El 20/09/2021 se desmontan los eslabones de la cadena del horno para reenderezar y la cadena queda operativa. Posterior a esto, ya durante operación normal de la Línea, se pide asistencia al equipo de Ingeniería para evaluar un desfasaje en las cuplas cuando pasan por el horno. En la **Fig. 32** se visualiza la problemática. Notar que las cuplas, al llegar a la posición de toma por el gripper de pintado, se van desfasando en su recorrido provocando cuplas acumuladas.

Fig. 32: Desfasaje de cuplas en el horno.

Para analizar este desfasaje se marcó una línea recta al inicio del recorrido de la cadena y se evalúa el desfasaje al completar una vuelta completa. Esto se realiza con la cadena descargada. En la **Fig. 30** se visualiza el desfasaje luego de una vuelta. Podemos notar un adelanto en un lateral de la cadena central, y en otro de la cadena derecha.

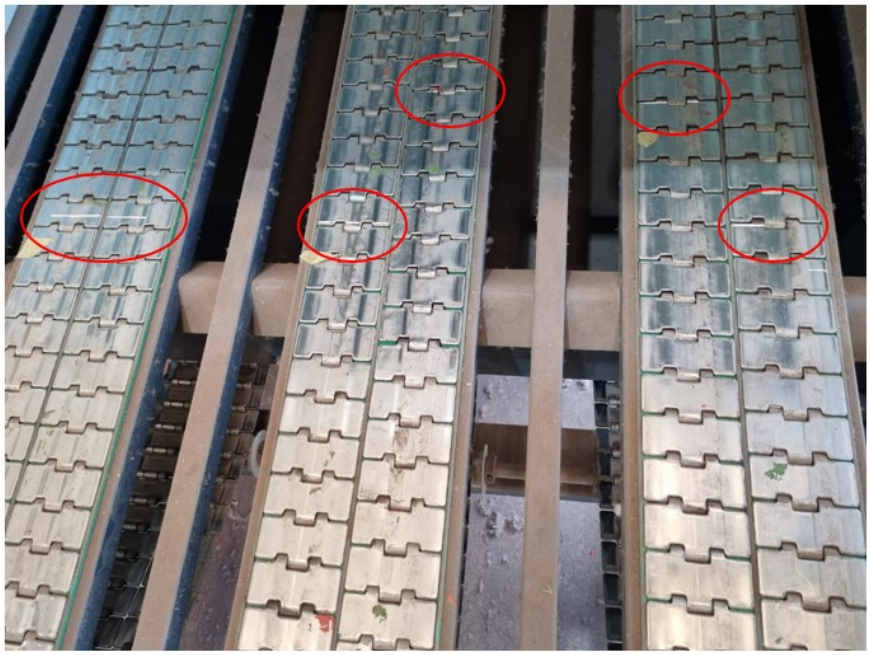


Fig. 33: Prueba realizada para observar el desfasaje de cuplas en el horno.

Al encontrar este desfasaje se desarmó el conjunto y se verificó el eje motriz, encontrando que los piñones de las cadenas que se adelantaban tenían un diámetro primitivo más chico que las otras 4. Se envió a refabricar el eje y todos los piñones, lo cual demoró 2 semanas, y luego se programó una intervención para reemplazarlo. Este inconveniente quedó resuelto y no volvió a presentarse el problema de desfasaje. En la **Fig. 34** se observa el eje reemplazo, previo a su montaje.

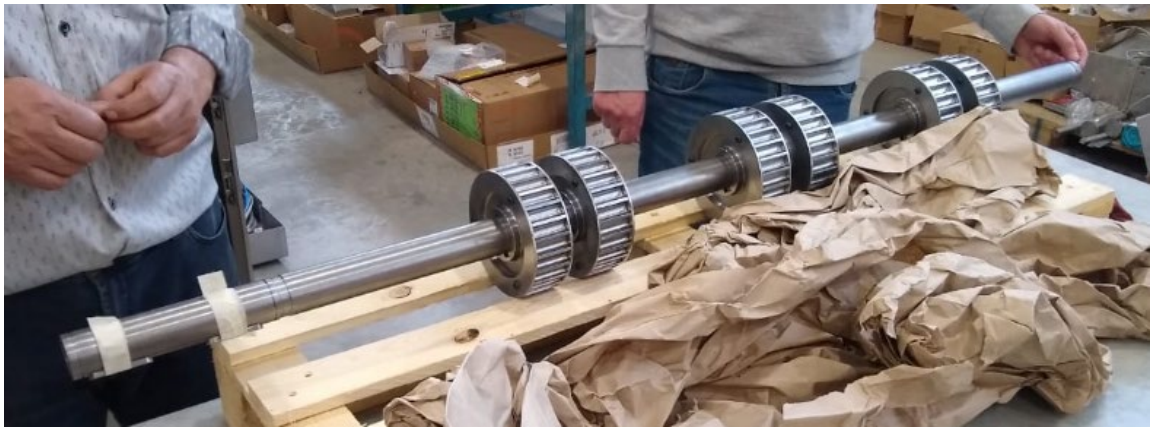


Fig. 34: Nuevo eje motriz de la cadena del horno.

3.2.2.9. Fallas en el servo de la mesa de entrada

El servo del canal de entradas de cuplas registró 3 fallas que produjeron atrasos en la PEM.

Rotura de bulón del acople partido del servo

Mientras se realizaban pruebas con cuplas de Ø2 7/8", el día 10/09/2021 se sintió un ruido muy fuerte como de rozamiento entre piezas metálicas, seguido de un traqueteo y posterior humo sobre la brida que une el servomotor con el reductor del canal de entrada de cuplas de la Línea. En la **Fig. 35** se visualiza el servo en cuestión.

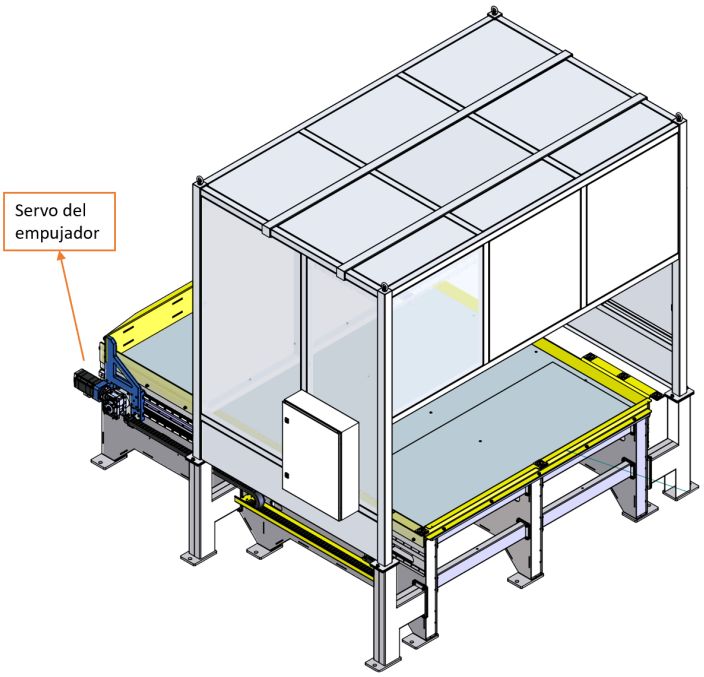


Fig. 35: Sistema de carga de cuplas.

Al desarmarlo, se encontró que uno de los tornillos del acople partido (que vincula el servo con el reductor) se había cortado, lo que produjo que este se abriera y comiera la parte interna de la carcasa. En la **Fig. 36** podemos notar el tornillo partido y la viruta resultante del contacto mencionado.

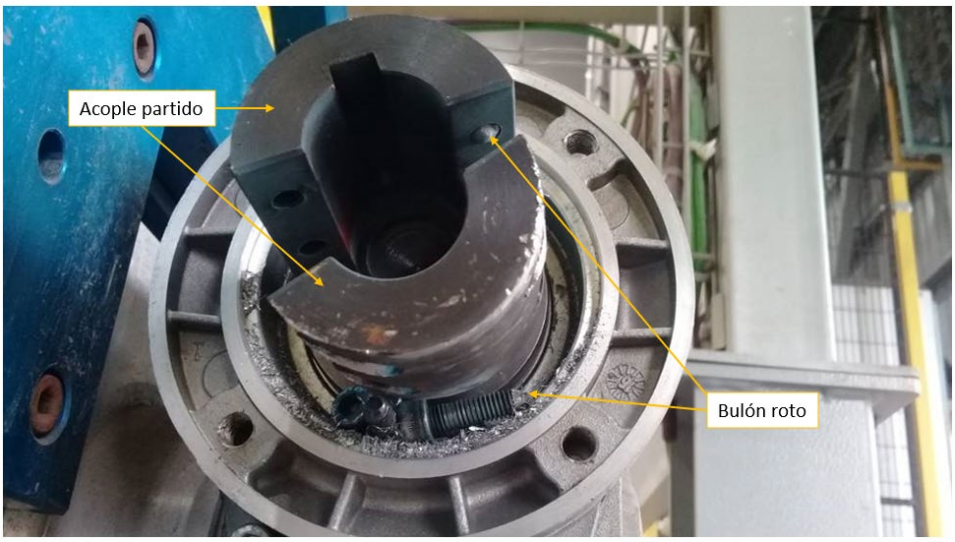


Fig. 36: Vinculación servo-reductor.

Observando la superficie de fractura notamos que la falla fue progresiva, generando una zona de rotura dúctil, y otra zona de rotura frágil dada cuando la sección remanente era muy chica para soportar el esfuerzo. Por la sección de corte podemos notar una falla por fatiga de tracción-compresión.

Este inconveniente pudo deberse por un desajuste del bulón, sumado a los esfuerzos por carga dinámica. Como solución se propuso colocar un traba rosca químico a los bulones del acople, lo cual resultó eficiente pero complicaba el desmontaje en caso de tener que realizar mantenimiento.

Rotura del eje y piñón del reductor

El día 23/10/2021 ocurre la rotura del eje y uno de los dientes del piñón del reductor acoplado al servo del empujador de la mesa de entrada de cuplas. En la **Fig. 37.a** se observa el eje partido y en la **Fig.37.b** el piñón con su diente roto.

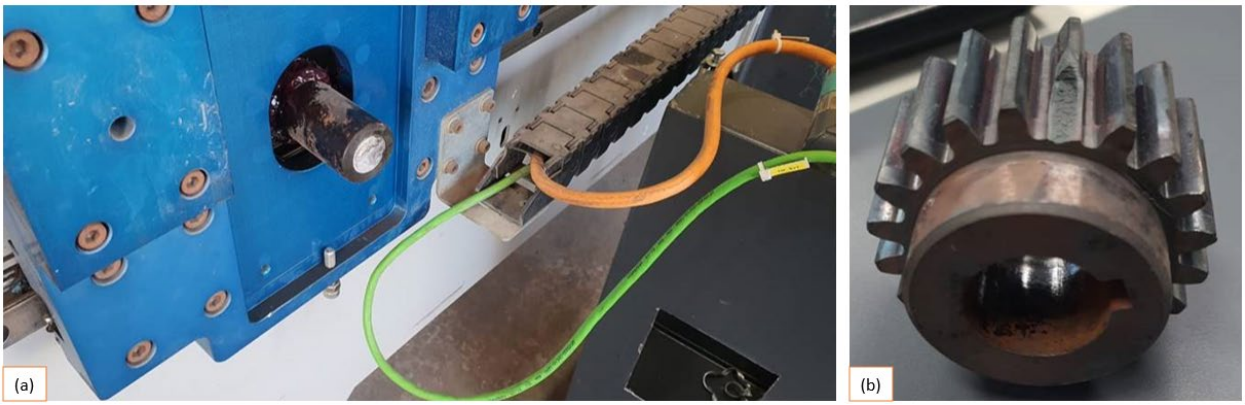


Fig. 37: (a) Eje y (b) piñón del reductor rotos.

Analizando la falla se observa que se originó en la zona de cambio de sección del eje y se extendió hasta la ranura de la chaveta. Similar al caso que se presentó con el eje del servomotor del pórtico en la Sección 3.2.2.6, notamos un mal diseño del eje dado que no posee radio de acuerdo y, por lo tanto, se tiene un gran concentrador de tensiones en dicho cambio de sección. Si observamos este eje en particular, el problema se ve agravado dado que la distancia del chavetero al cambio de sección es muy acotada (**Fig. 38**). Esta combinación de mal diseño junto con los esfuerzos generados en los ciclos de arranque y parada del motor propició las condiciones para el inicio y propagación de una fisura por fatiga alternativa que fue avanzando hasta que la sección remanente del eje era muy chica para soportar el torque y se terminó generando una fractura frágil.

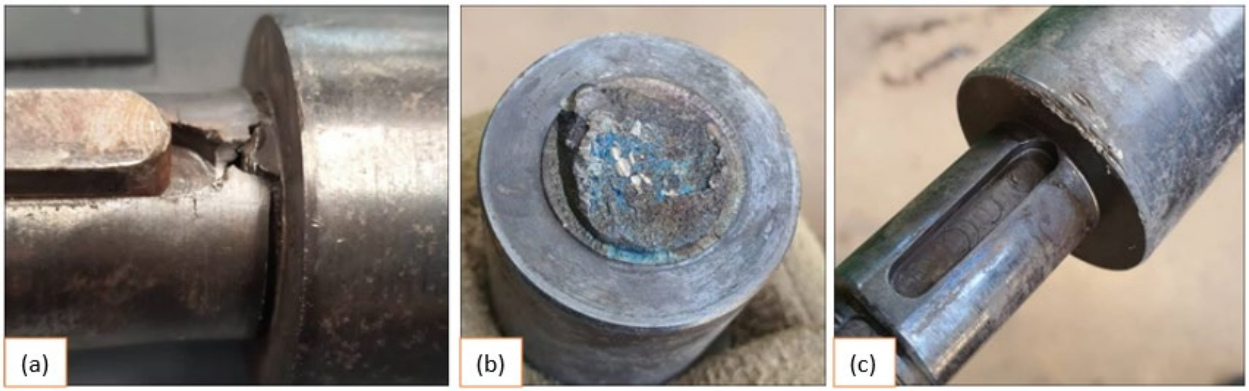


Fig. 38: Eje roto: (a) Origen de fisura, (b) Superficie de fractura y (c) Error de diseño.

Se consiguen los planos del eje y se envía a fabricar un repuesto al TAME (Taller Mecánico). Al igual que en el eje **Z** del pórtico de pintado, se modifica levemente el diseño del eje roto, agregando radios de acuerdo permisibles por el ensamblaje, modificando levemente la posición del chavetero y cambiando el material por un acero SAE4130 de mejores propiedades mecánicas. El piñón es comercial marca Güdel pero al ser importado, también se envía a fabricar al TAME.

3.2.2.10. Inconveniente con el disco guía para cuplas chicas

Ya desde las primeras pruebas con cuplas se pudo notar que, desde su diseño, la Línea completa no había sido pensada para procesar la gama de cuplas más chicas comercializada por FACU (cuplas de Ø2 7/8”). Particularmente, en la celda de pintado, el problema fue de fácil solución, pero requirió fabricar una pieza nueva por el proveedor. Para comprender el problema se hace una breve descripción del sistema. En la **Fig. 39** se representa la columna de pintado exterior.

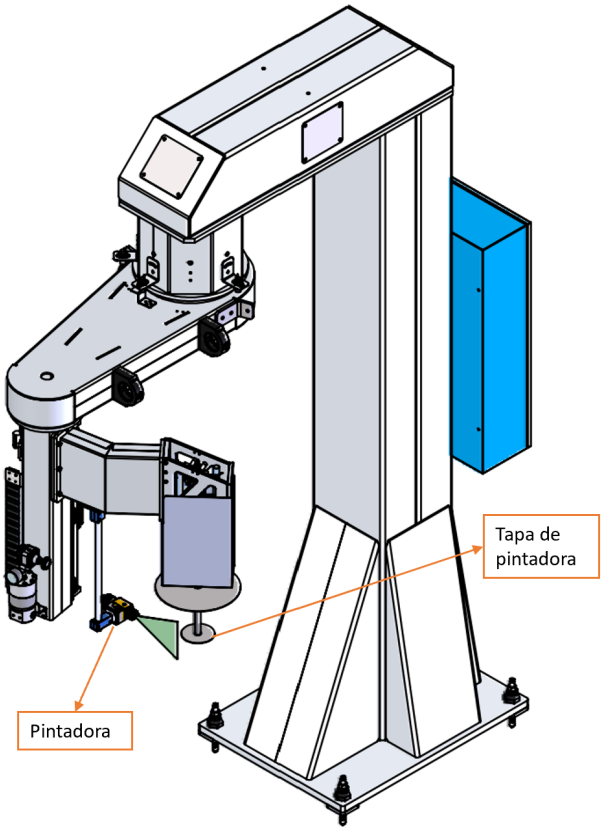


Fig. 39: Columna de pintado exterior.

Cuando la cupla llega a la posición de pintado (entre la pintadora y la cabina de contención de pintura), la tapa baja hasta hacer contacto con el filo superior de la cupla, con el fin de evitar el ingreso de pintura a la zona roscada (interior) mientras se realiza el pintado. Desde el diseño, el fabricante proveyó 3 tapas de distintos diámetros, intercambiables en función de la gama de cuplas a procesar.

Para cuplas de altura inferior a 180mm, el vástago no llegaba a colocar la tapa en la posición de trabajo (**Fig. 40.a**), por lo que la pintura ingresaba a la rosca y debían reprocesarse. Para solucionar esto, el proveedor fabricó una nueva pieza como la presentada en la **Fig. 40.b** que permitía alcanzar esta altura.

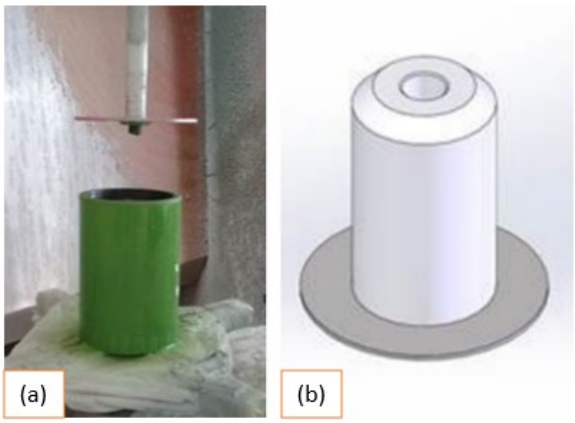


Fig. 40: (a) Visualización del problema. (b) Solución adoptada.

3.2.3. Celda de terminación

3.2.3.1. Interferencia en mesa giratoria de 5 husillos

Durante las primeras pruebas de movimientos en manual, notamos una interferencia con el acople de la mesa giratoria de 5 husillos que se encuentra en la celda de terminación. Para comprender mejor primero se explica su funcionamiento.

La mesa giratoria de 5 husillos posee un motor principal que comanda el giro de la mesa (la traslación de cuplas), y dos motores secundarios que tienen como finalidad rotar la cupla sobre su eje en las posiciones de franjeado y laqueado.

En la **Fig. 41** se visualizan los subconjuntos que permiten realizar el giro de las cuplas sobre su eje. Cada plato magnético tiene una rueda de acople que es detectada por un sensor. Un segundo sensor detecta la presencia o no de una cupla sobre el plato magnético. Cuando ambos sensores se activan, se produce tanto el giro del motor como el accionamiento de un cilindro neumático que mueve el conjunto motor-rueda, lo que produce el acople y posterior giro del plato magnético.

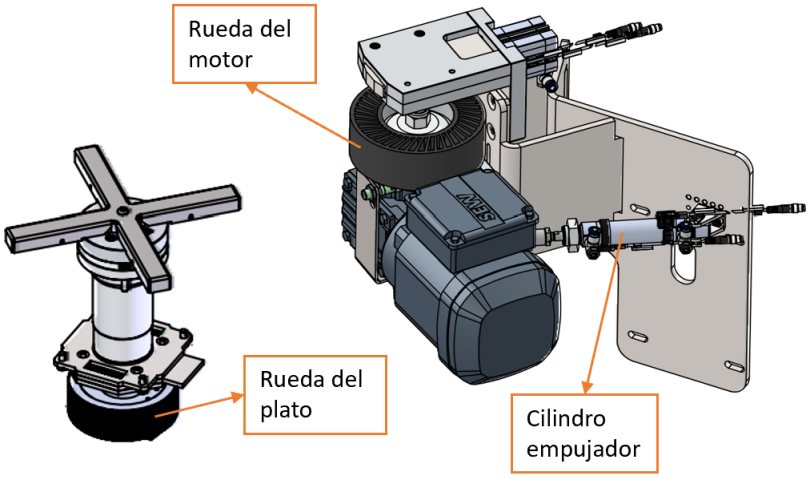


Fig. 41: Mecanismo de acople y giro del husillo.

Para la posición de franjeado, la carcasa del motor vino colocada de la forma en que se visualiza en la **Fig. 41**, lo cual ocasionaba una interferencia con la rueda del plato cuando se intentaba realizar el acople. Para solucionar esto se debió quitar el motor y girarlo 180° respecto de la posición mostrada.

Una vez corregida la posición de la carcasa del motor pudo notarse un nuevo inconveniente. Al intentar accionar el mecanismo se observa que el sensor que detecta la presencia de la rueda de acople en la posición de franjeado, al estar vinculado al motor, deja de detectar la rueda cuando se produce el acople, desacoplando automáticamente el motor e interviniendo con el giro.

Para resolver este inconveniente se procede a fabricar un soporte de fijación al piso para el sensor, para independizarlo de los movimientos del motor. En la **Fig. 42** puede observarse el mecanismo y el soporte fabricado para el sensor. Notar que, en esta figura, también se observa implementada la rotación de la carcasa del motor.

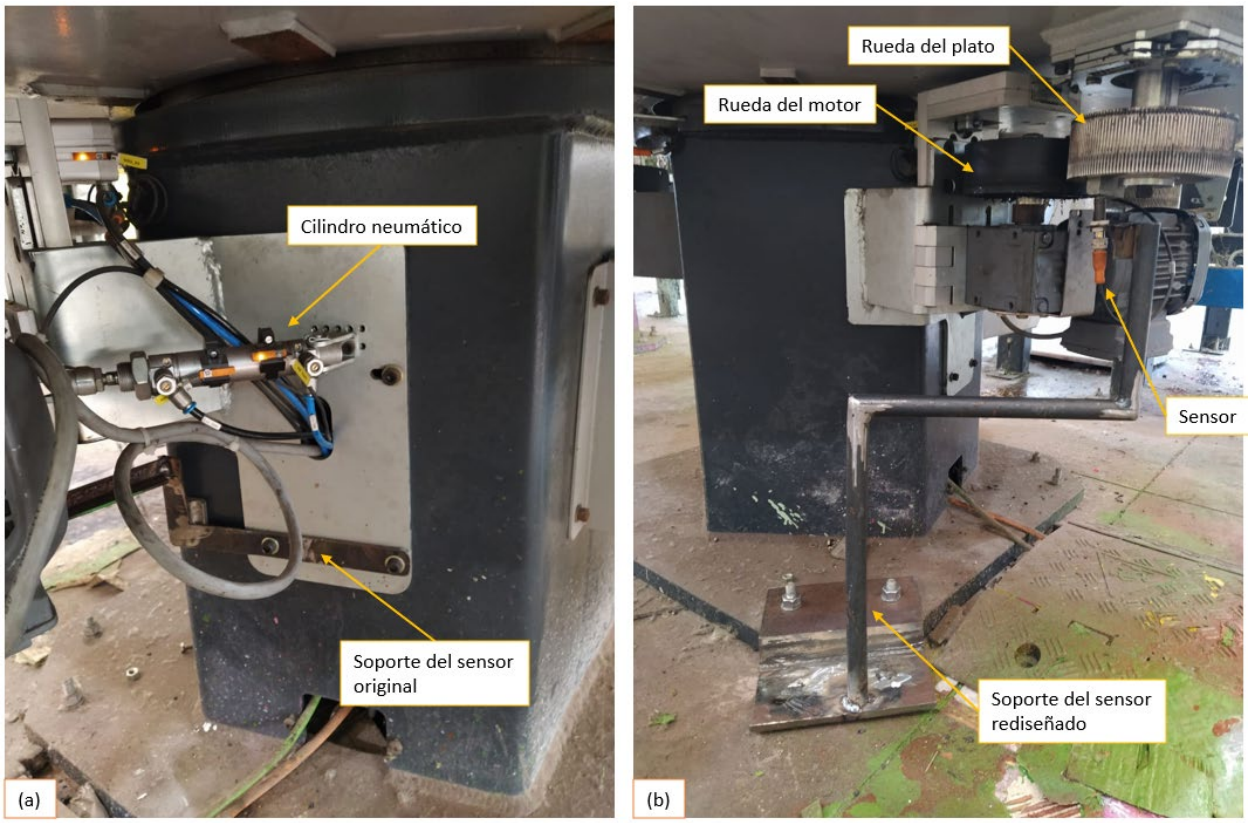


Fig. 42: Empujador del acople y soporte del sensor instalado.

3.2.3.2. Descalce de cadena de paletizado

Durante las pruebas de movimiento en manual en la celda de terminación, se generaban constantes interrupciones por descalce del primer tramo de la cadena de paletizado. Se programa una intervención el día 27/07/2021 para desarmar el conjunto, y se encuentra que los ejes motrices estaban mal diseñados: los piñones no poseen fijación axial, por lo que cualquier esfuerzo en la dirección del eje hacía cruzar la cadena, lo que terminaba provocando el descalce. En la **Fig. 43** se visualizan los ejes en cuestión y en la **Fig. 44** se representa su ubicación en el conjunto.

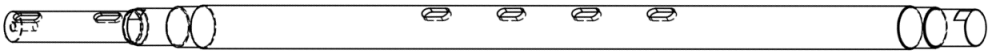


Fig. 43: Eje motriz original de la cadena de paletizado.

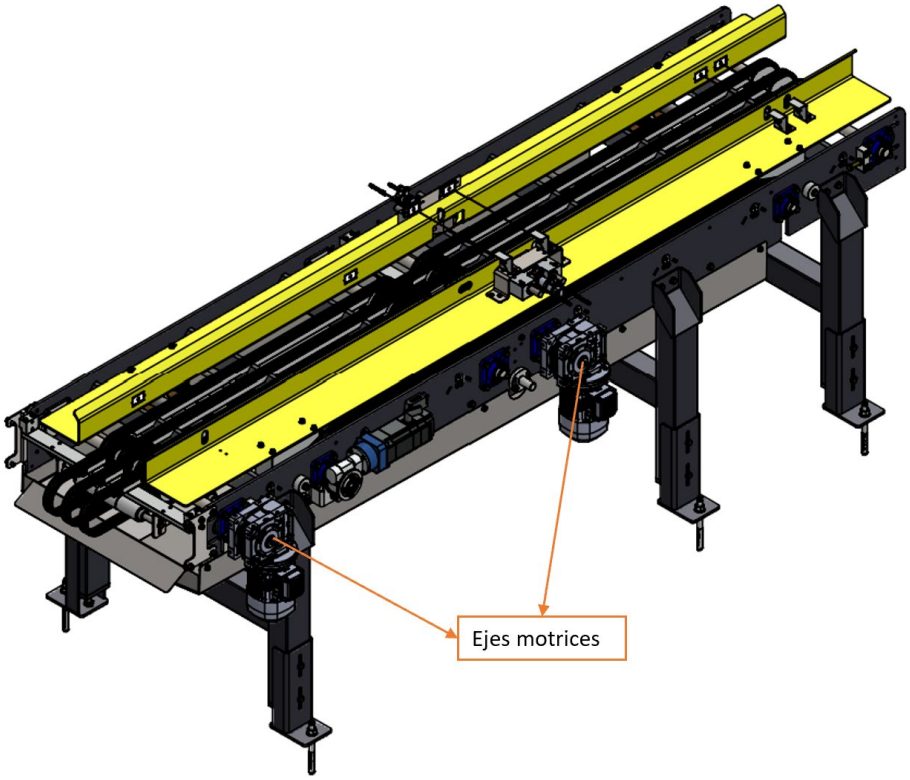


Fig. 44: Ubicación de los ejes motrices en la cadena de paletizado.

Con el conjunto desarmado, se toma como decisión provisoria soldar pedazos de chaveta entre piñones, simulando los "hombros" que debería tener el eje para evitar movimientos axiales. Esta solución resulta efectiva dado que no vuelven a producirse los descalces de la cadena, pero no es una solución óptima porque genera un desbalanceo en el eje. Por este motivo se rediseña el eje con los cambios de sección adecuados y se manda a fabricar para que quede como repuesto crítico de la Línea a disposición del equipo de Mantenimiento.

3.2.3.3. Inconvenientes con el gripper de terminación

Durante las pruebas con cuplas, se tienen algunas interrupciones en la celda de terminación dado que el gripper del robot de esta celda se iba a falla por sobrecalentamiento.

En la **Fig. 45** se puede observar el gripper del robot de terminación. El funcionamiento del sistema de agarre es similar al del robot de pintado como se explicó en la Sección 3.2.2.5. La diferencia con este gripper radica en la forma de trabajo del servomotor: mientras que en el gripper de pintado se seteaba el agarre de una cupla definiendo el sobretorque, en el gripper de terminación se logra definiendo el desplazamiento. Esto significa que, desde la programación, es necesario setear la distancia que deben recorrer las cajeras para lograr un agarre efectivo o, lo que es lo mismo, la distancia de compresión de los resortes.

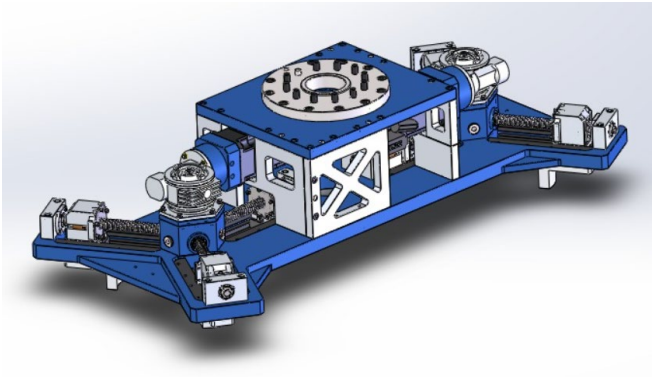


Fig. 45: Gripper del robot de terminación.

En las cajeras de este gripper ocurría el mismo inconveniente que en el gripper de pintado: cuando se accionaba el mecanismo, los resortes golpeaban contra el interno de la carcasa y frenaban el movimiento antes de lo requerido.

Debido a la forma de trabajo de este gripper (por desplazamiento en vez de torque) y dado que no se llegaba a alcanzar la posición de agarre efectivo, se generaban los sobrecalentamientos que llevaban a falla el robot porque el servo interpretaba que debía seguir accionándose. Esto no ocurría en el gripper de pintado dado que en algún momento si se alcanza el torque de agarre efectivo, aunque no era el correcto.

La detección de este problema no fue fácil, sino que se pudo asociar una vez descubierto el problema similar en el gripper de pintado. Para corregirlo se tomó la misma acción que en el caso anterior: se cambiaron los resortes y arandelas de las cajeras por unas de menor tamaño.

3.2.3.4. Adaptación en celda de terminación para pasar cuplas chicas

Como se mencionó en la Sección 3.2.2.10, durante las pruebas en automático se detecta el inconveniente para pasar las cuplas más chicas de 110 mm de altura por toda la Línea. En particular, para la celda de terminación, el inconveniente se presenta en la zona de toma y descarga de cuplas del gripper del robot (ver **Fig. 46**).

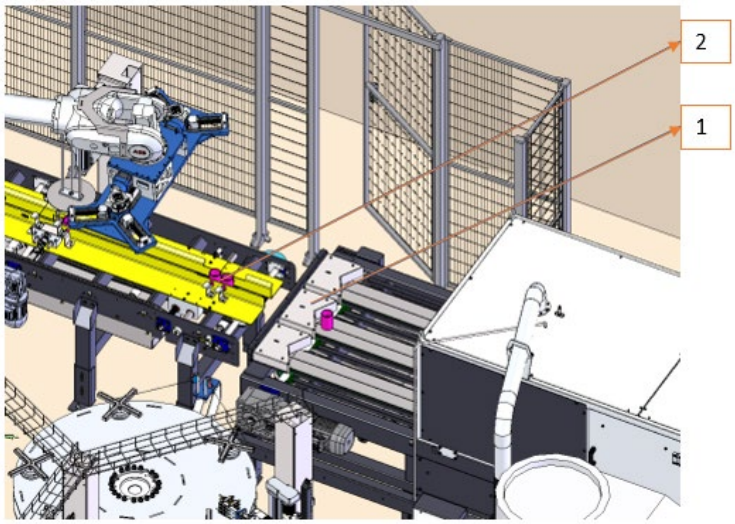


Fig. 46: Posiciones con interferencia para cuplas chicas.

En la posición de toma de cuplas **(1)**, los topes en "V" ubicados al final de la cadena del horno presentan una altura tal que interfieren con las garras del gripper cuando este último baja para realizar el agarre. Estos topes poseen unos gatillos que accionan una leva cuando la cupla llega al final de su carrera, dando así aviso al robot de que hay una cupla en cada posición.

Para poder tomar cuplas de 110 mm se debe realizar modificaciones sobre este mecanismo, lo cual implica reducir la altura de la carcasa de los topes en V, colocar un soporte de sensor más chico, y una leva y soporte de leva más chicos también.

En la posición de descarga de cuplas **(2)**, es necesario realizar la apertura de ventanas sobre las barandas laterales para evitar la interferencia entre dichas barandas y las garras del gripper.

Finalmente, es necesario cambiar la programación para que el gripper sujete estas cuplas entre 10 y 12 mm desde su cara superior, como se muestra en la **Fig. 47**. Acompañado a este cambio, se debe controlar la fuerza de sujeción para no forzar la mecánica del gripper.

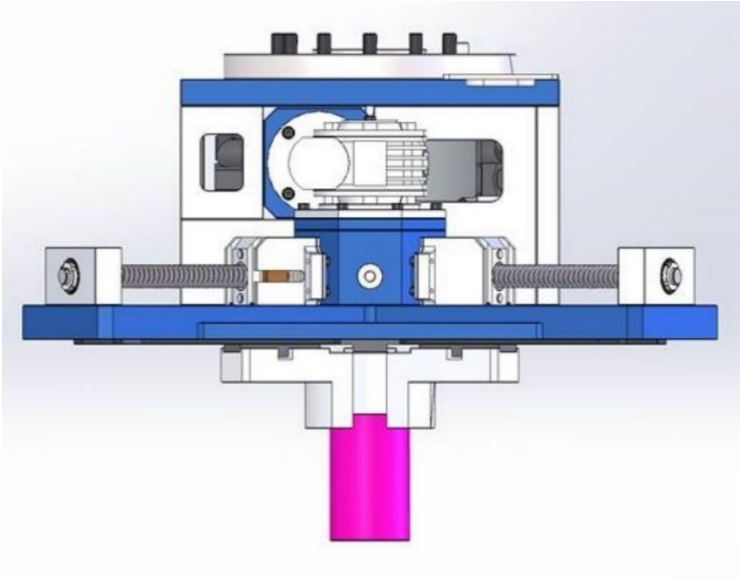


Fig. 47: Agarre de cuplas chicas.

3.2.3.5. Cambio de mangueras de poliamida

Durante las pruebas con insumos en la celda de franjeado, pudo notarse que con el correr de los días las mangueras de poliamida por las cuales circula pintura y solvente para el circuito de franjeado, se iban desgastando muy rápidamente. Este hecho pudo identificarse porque, al circular solvente por el circuito, las mangueras se recalentaban y se volvían más maleables.

Al plantearle esta inquietud al proveedor nos confirmaron que las mangueras de poliamida no resultaban compatibles con el solvente utilizado. Por este motivo, fue necesario cambiar todas las mangueras del circuito de franjeado por mangueras de poliuretano. Estas mangueras son las que se utilizan en el circuito de pintado y presentan mayor resistencia al envejecimiento, lo que las convierte en aptas para los insumos utilizados.

El reemplazo por las mangueras de poliuretano se realizó el día 24/08/2021. Si bien no hubo retrasos en la PEM debido al inconveniente, las mangueras se cambiaron en fechas en que la Línea ya se encontraban operativas, por lo que el cambio se hizo efectivo en una RP.

3.2.3.6. Purgadora y agarradera para tachos de pintura

Durante las pruebas de franjeado, también, surge el planteo de no tener ninguna contención a la hora de realizar el purgado de la pistola que aplica pintura en esta operación.

Las pinturas utilizadas tanto para el pintado como para el franjeado son pinturas en base de laca vinílica que tienen la característica de adherirse y secarse rápidamente cuando están expuestas al aire. Esto resulta beneficioso desde el lado productivo, pero puede traer ciertos problemas a la hora de realizar un mantenimiento de las pintadoras.

El purgado de las pistolas consiste en pasar solvente por el circuito de pintura durante determinado tiempo. El solvente remueve la pintura seca y la arrastra hacia la salida, limpiando internamente los componentes expuestos a la pintura.

Resulta necesario purgar el sistema cuando se realiza un cambio de operación para procesar un producto que requiere otro color, o cuando se tiene cierto tiempo las pistolas en desuso con el fin de realizar una limpieza interna de la misma. Durante las pruebas se registra que cada 20 minutos aproximadamente de la Línea en desuso ya se comienza a taponear la pistola y hay que purgarlas.

Dicho esto, resulta necesario contar con una contención para poder realizar el purgado del cabezal de franjeado sin ensuciar la zona de trabajo. Es por eso que se diseña y se fabrica el dispositivo mostrado en la **Fig. 48.a**. En la **Fig. 48.b** se presenta el sistema realizando el purgado.

Fig. 48: (a) Dispositivo para purgado y (b) forma de uso.

Otro aspecto de mejora que se detecta durante las pruebas con insumos es que, para cambio de color o recarga de pintura, surge la necesidad de realizar una adaptación en los tachos presurizados para facilitar la operatoria.

A diferencia del sistema de pintado exterior, el circuito de pintura y solvente de la celda de terminación se encuentra presurizado. En la **Fig. 49** se muestra el gabinete de pintura para la celda de terminación. Los recipientes son individuales para cada color y función. Los mismos se traban a la tapa mediante un octavo de vuelta, y luego se abre la válvula que los presuriza.

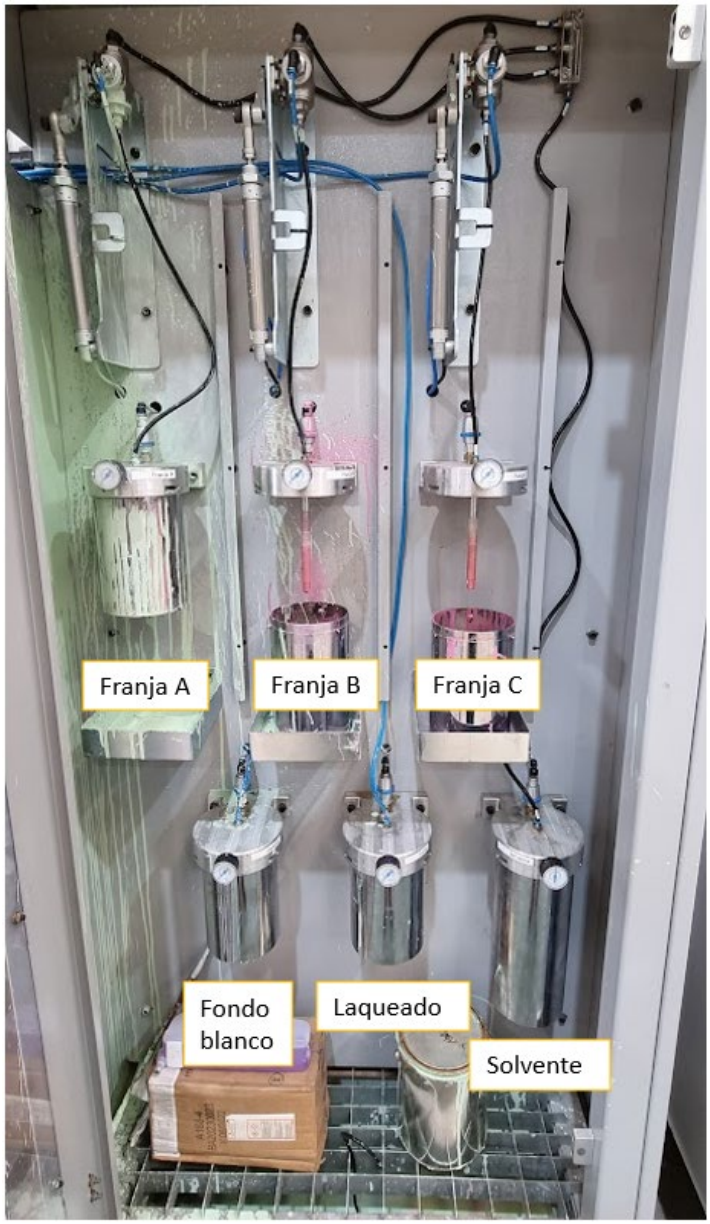


Fig. 49: Depósito de pinturas de terminación.

Durante las pruebas pudo notarse cierta complicación a la hora de operar un cambio o recarga de pintura. Esto se debe a que resulta difícil el calce y descalce del tacho al realizar el octavo de vuelta, dado que se llena de pintura el borde superior del tacho, "trabando" el sistema. Esto, combinado con que los tachos no cuentan con una manija para realizar la fuerza, complica la tarea del operario.

Debido a que los recipientes son de acero inoxidable con un bajo espesor y que, para su funcionalidad dada, se encuentran presurizados, se descarta la posibilidad de soldar o abulonar alguna manija. Como alternativa, se diseñan y fabrican las agarraderas mostradas en la **Fig. 50**, cuyo ajuste se realiza mediante bulón y tuerca sobre la misma agarradera. Estas piezas fueron fabricadas con un método muy manual en el taller de herrería de Techint, por lo que se decide construir uno, verificar que cumpla con la necesidad, y luego fabricar el resto.

Fig. 50: Agarraderas para tachos de acero inoxidable.

3.2.3.7. Inconvenientes en la estación de aceitado

En la **Fig. 51** se observa la estación de aceitado. La cupla llega a la posición de trabajo, es detectada por los sensores y se envía una señal de comando a la electroválvula que controla la salida de los cilindros neumáticos que impulsan el tope para frenarla en esa posición.

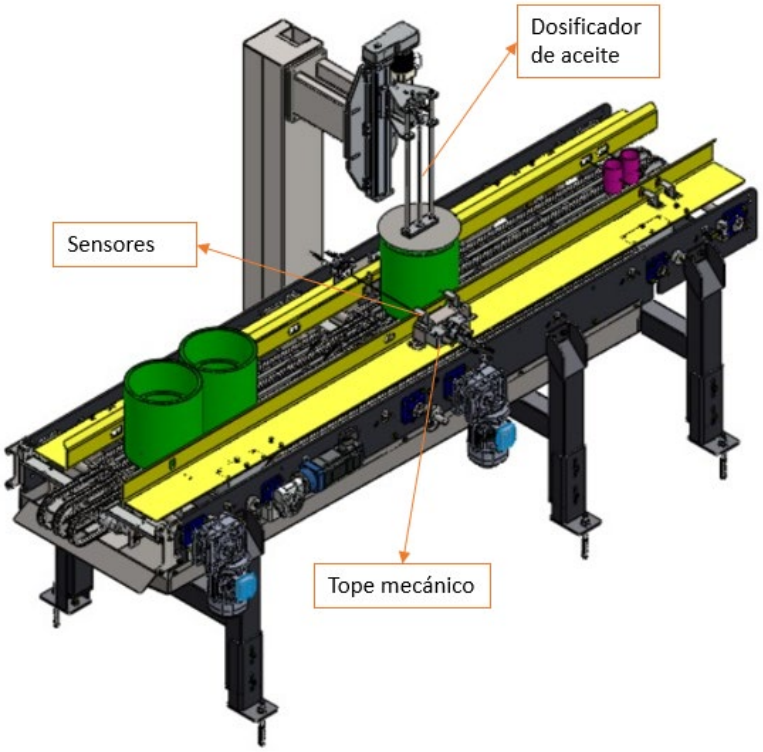


Fig. 51: Estación de aceitado.

Si observamos el dosificador de aceite, notamos que el mismo posee 2 guías que absorben la carrera de descendente del vástago central, por el cual circula el aceite hasta llegar al pico, donde se dosifica en forma de nube. El plato circular cumple la función de contener la salida de aceite por sobre la cupla.

Con las primeras pruebas con insumos en la estación de aceitado pudo notarse un primer problema: el chapón de contención que se ubica debajo de la cadena de paletizado a la altura de la estación de aceitado (cuya función es justamente contener los excesos de aceite en este proceso), no cubría la totalidad de la cadena, por lo que se generaban grandes pérdidas y depósitos de aceite en el piso de la Nave. En la **Fig. 52** se muestra la zona sin contención del chapón original, donde puede verse que se ha colocado una bandeja de PVC en el suelo para evitar los derrames.

Fig. 52: Zona descubierta del chapón y contención de PVC.

Se rediseña el chapón para que cubra la totalidad de la estación de aceitado en base al modelo 3D del chapón original. El chapón es fabricado con un taller externo, por lo cual se arma la documentación necesaria para el presupuestado y la compra del mismo.

Podemos notar que el chapón original posee una cavidad para purgado. Para realizar esta operación se utiliza una bandeja de PVC como la mostrada en la **Fig. 52**. Una vez purgado y lleno el recipiente, este último se vacía dentro del depósito de aceite para recuperarlo, colocando un filtro manual cuando se hace el trasvaso.

Ya durante la curva de arranque de la Línea se detecta un inconveniente con los sensores en la estación de aceitado y se pide asistencia al equipo de Ingeniería para solucionarlo. Para cuplas de altura inferiores a 135mm, los sensores no detectaban su presencia, dejándolas pasar por la estación sin frenarlas y, por lo tanto, sin aceitarlas. En la **Fig. 53** se representa la problemática y puede notarse que la luz emitida por los sensores pasa muy cercana al borde superior de las guías del canal. La imagen tomada es con cuplas de 135mm de altura.

Fig. 53: Descripción del problema con sensores.

Para solucionar este inconveniente se procede a realizar una abertura en el canal, similar a la realizada para poder pasar cuplas de 110mm de altura (detallado en la Sección 3.2.3.4). Junto con la apertura del canal, es necesario rediseñar el soporte de los sensores y el de los reflectores para colocarlos a una altura inferior. En la **Fig. 54** se presenta la comparativa del sistema previo y posterior a la modificación.

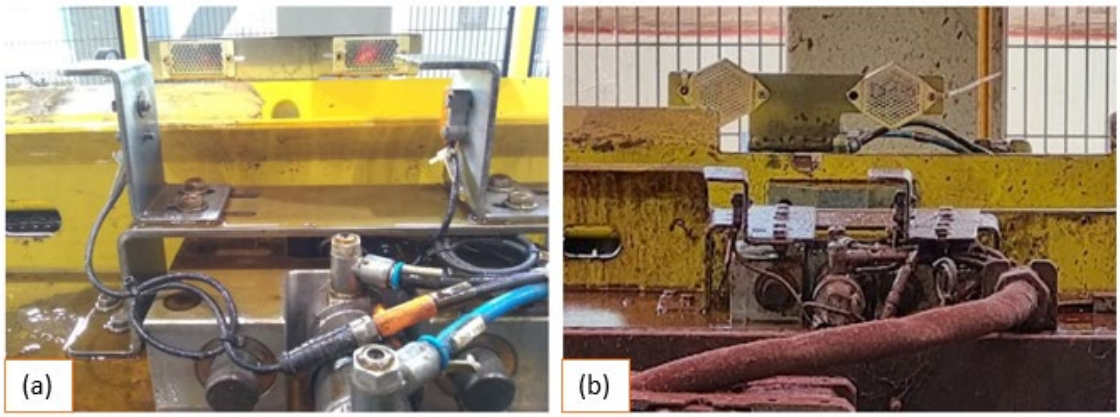


Fig. 54: Disposición de sensores en la estación de aceitado previo (a) y posterior (b) a la modificación.

3.2.4. Celda de paletizado

3.2.4.1. Inconvenientes con la canal de paletizado

Con los primeros movimientos en manual se detecta un primer inconveniente en el canal de paletizado. El sistema cuenta con topes mecánicos accionados por cilindros neumáticos, que cumplen la función de frenar las cuplas en determinadas zonas del canal, dado que la cadena que los moviliza se encuentra siempre en funcionamiento cuando la Línea trabaja en automático. En total hay 4 topes, uno por cada lado del canal en las 2 posiciones donde la cupla puede frenarse: en la estación de aceitado (aquí hay un freno obligatorio), y en el pasaje a la etapa final del canal para ser tomada por el gripper del robot de paletizado. En la **Fig. 55** se presenta el canal de paletizado, donde se visualiza la ubicación de los topes mencionados.

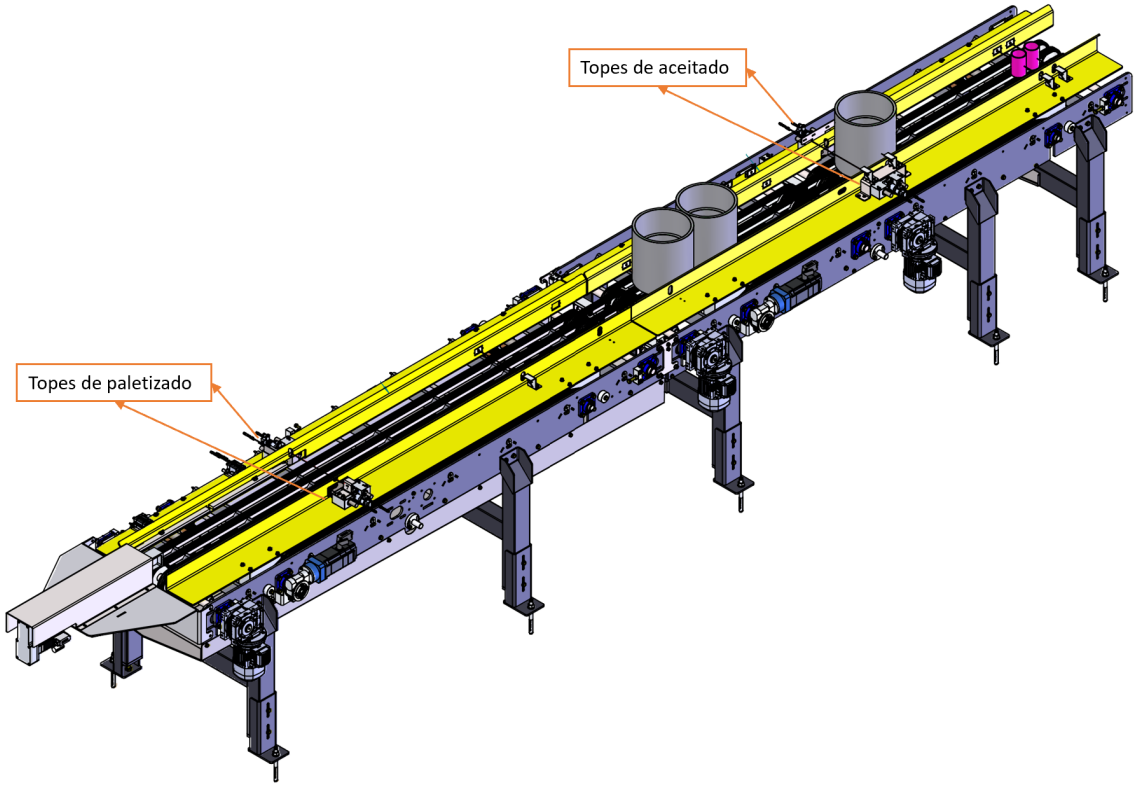


Fig. 55: Ubicación de los tomes en la cadena de paletizado.

Estos topes presentaban un nivel de oxido importante en las guías, lo que imposibilitaba su movimiento cuando se accionaba el cilindro. Por este motivo se debió programar una intervención donde se quitó el óxido de las guías y se los lubricó con aceite en aerosol en base de teflón para evitar la acumulación de suciedad.

Ya con los topes funcionando correctamente se detectó otro inconveniente cuando se realizaban pruebas con cuplas: cuando los topes se accionaban para frenar una cupla, muchas veces la cupla "salteaba" los topes y continuaba su movimiento. Se estudió este problema llegando a la conclusión que la carrera de los cilindros que accionan los topes es muy corta para el ancho del canal. Aun así, no fue necesario cambiar los cilindros dado que el acho del canal puede regularse automáticamente (según la programación) para cada tipo de cupla, y pudo observarse que el huelgo entre las paredes internas del canal y la cupla podía reducirse aún más. De esta forma se corrigieron los parámetros programados del ancho del canal para cada gama de cupla, llevándolos al mínimo posible.

3.2.4.2. Elevado de la cadena de salida de pallets

Durante las pruebas con insumos en la celda de paletizado, se pudo notar que los primeros pallets de cuplas envueltos presentaban un mal agarre del film contra el pallet. En la **Fig. 56.a** se presenta uno de los primeros pallets de cuplas que salieron de la Línea. Puede notarse que el film lateral no llega a agarrar el pallet, lo cual es un potencial riesgo de seguridad teniendo en cuenta la posibilidad de las cuplas envueltas de deslizar sobre el pallet. Se requería entonces que el film envuelva parte del pallet y forme una gran masa única. Dado que la envolvedora cuenta con un sistema de subida y bajada del rodillo para cubrir la totalidad del pallet y layers de cuplas, desde la programación se lleva el rodillo a su límite inferior, notando una mejora (**Fig. 56.b**).

Fig. 56: Pallets envueltos: (a) primeras pruebas y (b) luego de bajar el film a su límite inferior.

Aun con esta modificación, el agarre del film al pallet era escaso según lo definido desde Seguridad Operativa. Es por esto que debió programarse una intervención mecánica para elevar la cadena de salida de pallets unos 12mm, lo cual fue posible gracias a su sistema de bulones y correderas en cada pata.

3.2.4.3. Errores de sensado en cadena de entrada de pallets

Durante la PEM de la Línea, se plantea la necesidad de parte de Operaciones de tener que utilizar otro modelo de pallets.

Como ya se explicó anteriormente, los pallets de cuplas que salen de la Línea pueden tener como destino los consumos internos dentro de Siderca (PREM, LACO1 y LACO2), o pueden ser enviadas a exportación a Bay City (BC), otra de las plantas de Tenaris que se encuentra en EEUU.

Los pallets para los cuales fue diseñada para trabajar la Línea son los pallets tipo Arlog de 1200x1000x145 mm, como los que se muestran en la **Fig. 57.a**. Podemos notar que estos pallets poseen 3 patines en su longitud larga, es decir, en la dirección del largo de 1200mm. Desde BC se solicita que se envíen pallets de la misma dimensión, pero con los patines en su longitud corta, es decir, en la dirección del lado de 1000mm, como se muestran en la **Fig. 57.b**.

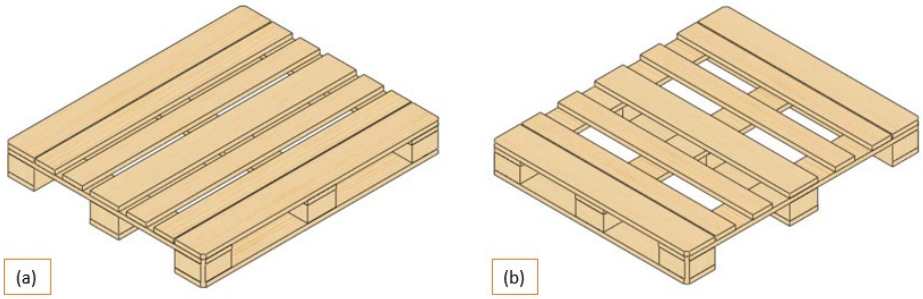


Fig. 57: Comparativa pallets Arlog (a) y para exportación a BC (b).

En la **Fig. 58.a** y **Fig. 58.b** se representa la posición de los pallets Arlog en las cadenas de entrada y salida, respectivamente. Así mismo en las **Fig. 59.a** y **Fig. 59.b** se muestra la posición de los pallets de exportación en las mismas cadenas.

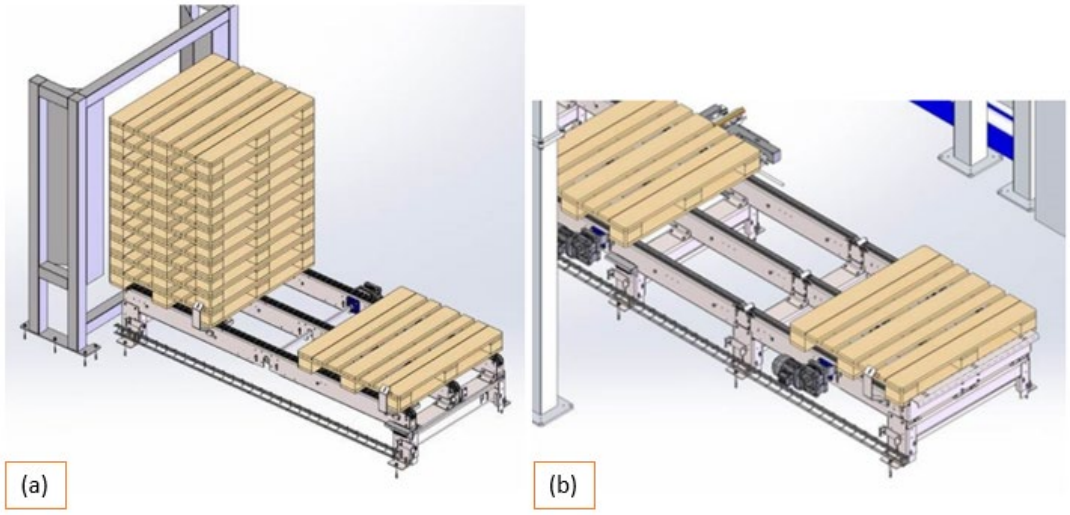


Fig. 58: Disposición de pallets tipo Arlog en cadena de entrada (a) y de salida (b) de pallets.

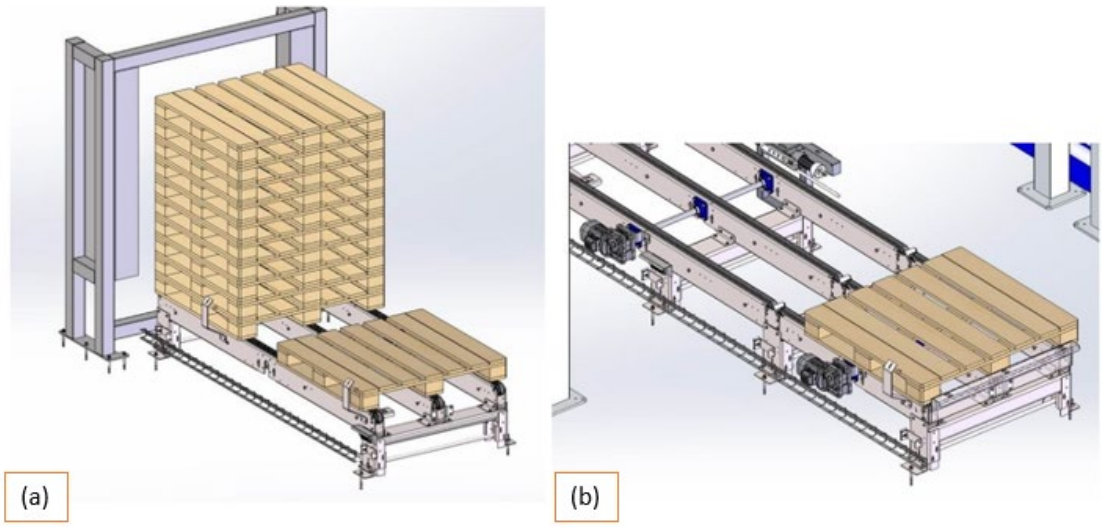


Fig. 59: Disposición de pallets para exportación en cadena de entrada (a) y salida (b) de pallets.

Dada la forma en que los sensores capturas la presencia del pallet, para los pallets tipo Arlog resulta como se muestra en la **Fig. 60**. Podemos notar que el sensor capta la presencia del pallet durante todo su recorrido dado que su haz de visión interfiere con el patín del pallet.

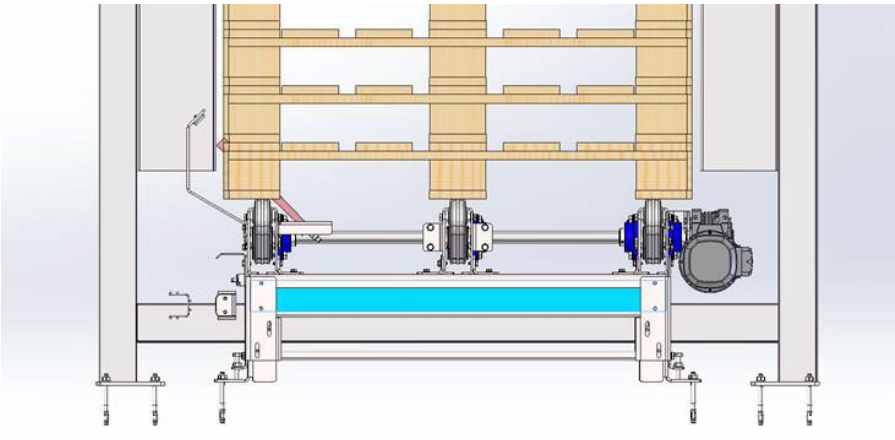


Fig. 60: Vista frontal de pallets tipo Arlog en cadena de entrada de pallets.

En la cadena de entrada de pallets, cuando el pallet pasa por completo la posición del sensor, este último envía una señal al PLC quien comanda el motor para frenar la cadena. En cambio, para los pallets de exportación, al tener el patín en la dirección contraria, el haz del sensor no intersecará al pallet durante todo su paso por la posición por lo que se envían señales de detección erróneas al PLC, y por lo tanto se frena el motor de la cadena en posiciones indebidas.

Para solucionar este inconveniente se decide, junto con Operaciones, utilizar un pallet de sacrificio tipo Arlog como base y, a la hora de cargar los pallets que va a utilizar la Línea, cargarlos encima de este pallet. De esta manera siempre se estaría leyendo el sensor correctamente.

En cuanto a la cadena de salida de pallets, ante la imposibilidad de colocar un pallet dummy por los movimientos de la envolvedora y la propia carga, se corrigen las señales de salida del PLC desde la programación para que envíen el comando de freno al motor en función de la interpretación de las señales del sensor y el tipo de pallet cargado seteado manualmente por el operario.

3.3. Otras tareas de Ingeniería necesarias

3.3.1. Generalidades

Se comentó acerca de las afectaciones que sufrió el proyecto durante su etapa de diseño y desarrollo, principalmente debido a la pandemia de Covid-19, pero también debido a decisiones tomadas desde la alta dirección de Tenaris y del proveedor, como la rotación del personal en los equipos de trabajo y los cambios en el alcance de la provisión. Todos estos factores generaron impactos negativos en los plazos de la etapa de desarrollo y compras, pero además tuvieron repercusiones que fueron detectándose en etapas posteriores (montaje y PEM), y que debían ser atacados para asegurar el éxito del Master Plan.

Los mayores impactos se ven reflejados en algunos aspectos clave del proyecto que no fueron tenidos en cuenta desde la etapa de desarrollo, o bien se decidió excluirlos de la provisión de Constantini, y los cuales son detallados en la Sección 3.3.2. Cabe mencionar que todas las tareas presentadas a continuación fueron realizadas en paralelo a la obra, algunas extendiéndose desde el montaje hasta la PEM.

3.3.2. Adaptación en los consumos de cuplas

Las cuplas terminadas son utilizadas como semielaborado en otra parte del proceso productivo, ya sea como consumo interno dentro de Siderca o como exportación cuando se envían a otras plantas de Tenaris en el mundo. En la **Tabla 3** se presenta un resumen informativo de los clientes de la FACU que reciben cuplas provenientes de FOL3.

Planta	Línea	Gama cuplas	Peso máximo de cupla unitaria
LACO1	**TELI**	2 3/4" a 5"	13 kg
LACO2	**PIMA**	4" a 9 5/8"	36 kg
PREM	**ROCO**	2 3/4" a 7"	18 kg
PREM	**TCR2**	4 1/2" a 9 5/8"	36 kg
PREM	**TCR3**	4 1/2" a 9 5/8"	36 kg
BC	**-**	2 3/4" a 7"	18 kg

Tabla 3: Consumos de cuplas procesadas por FOL3.

Con el proyecto de FOL3 ya en curso, pudo notarse que no todas las Líneas donde se consumen cuplas estaban preparadas para recibirlas en pallets. Esta problemática no fue considerada y estudiada con la dedicación que se requería cuando fue detectada, lo cual llevo a despriorizarla durante gran parte del proyecto. Al momento de plantear una solución se observó que cada Línea presentaba sus particularidades que debían ser estudiadas independientemente. Para comprender mejor las adaptaciones, primero se debe profundizar un poco más en el tema.

En las Líneas de Terminación de FACU existentes (FOL1 y FOL2), las cuplas salen en capachos, es decir en unos contenedores de chapa como los que se observan en la **Fig. 61**. Estos capachos son almacenados hasta que se requiera su envío a los puntos de consumo de Siderca.

Fig. 61: Capacho de cuplas terminadas.

En caso de que las cuplas sean para exportación, se realiza un trabajo manual de armado de pallets por los operarios, donde las cuplas se van pasando desde capachos hasta completar el pallet que se quiera exportar. En la **Fig. 62** se muestra un pallet típico armado de forma manual para exportación. Puede notarse que, contrario a lo que sucede en la nueva FOL3, no se sigue un patrón matricial para el armado del pallet, sino que las cuplas se ubican de manera más desprolija.

Fig. 62: Cuplas terminadas paletizadas manualmente.

En la idea original del proyecto se había pensado que la salida de FOL3 sea idéntica a la de FOL1 y FOL2, es decir, con las cuplas encapachadas. Ya con la etapa de definición del proyecto más avanzada, el contexto incrementaba las proyecciones productivas de cuplas para exportación, principalmente debido a un aumento de capacidad en BC, que podía ser satisfecho por el incremento de capacidad en FACU consecuente del MP. Este hecho asociaba entonces una mayor cantidad de trabajos manuales de pasaje de cuplas desde capachos a pallets. Sumado a esto último, desde la alta dirección de Tenaris se implantó una tendencia a disminuir el uso de capachos y aumentar el uso de pallets, no solo por la reducción de movimientos improductivos debido a su mayor capacidad de cuplas, sino también por su mayor simpleza de almacenamiento y traslado.

Bajo este contexto y, teniendo en cuenta que el proyecto aún estaba en etapa de definición, se decidió incorporar la celda de paletizado automática en la FOL3. El gran problema asociado a este cambio de alcance se vio reflejado en los consumos internos de cuplas, los cuales no estaban preparados para recibir cuplas en pallets.

Como puede verse en las imágenes, en el capacho las cuplas se almacenan de manera horizontal, mientras que en los pallets se ubican en forma vertical. Cuando las cuplas llegan a estas líneas de consumo en LACO1 (TELI), LACO2 (PIMA) y PREM (ROCO, TCR2 y TCR3), son tomadas por grúas columna/bandera y descargadas sobre un canal con una leve inclinación, donde se ubican de forma horizontal para que la cupla ruede por gravedad.

Como puede verse, con las cuplas llegando en pallet ya no solo se realiza una manipulación de las cuplas de manera horizontal, sino que se debe incorporar un giro entre el despaletizado y la carga de cuplas en el canal. Este giro puede realizarse manualmente por los operarios que cargan la Línea en el LACO1 dado el bajo peso unitario, pero no puede ser manual en las Líneas del LACO2 y PREM por cuestiones de seguridad laboral y ergonometría.

Esto hace que deba realizarse una adaptación de las grúas de carga de las cuplas en las Líneas de consumo, de manera de incorporar algún sistema que permita realizar la toma tanto de cuplas horizontales como verticales, y a su vez, que permita realizar un giro con la cupla en suspensión. La toma de cuplas horizontales debe ser posible por la convivencia entre pallets y capachos mientras la FOL1 y FOL2 continúan operativas.

Por todo lo explicado, se evaluaron distintas alternativas para solucionar este problema, encontrando que la mejor opción era el diseño de un gripper electromagnético que tenga la posibilidad de realizar un giro del electroimán.

Si bien existen distintas empresas que fabrican este tipo de manipuladores, los costos asociados a la compra de los mismos eran excesivamente elevados, además de un sobreestimado plazo de entrega por parte de todos los fabricantes. Es por esto que se trabajó en conjunto con un Estudio de Ingeniería (SOLAER) para diseñar los manipuladores.

En las **Fig. 63.a** y **63.b** se observan los grippers diseñados para TCR2 y PIMA, y para TCR3 y ROCO, respectivamente. La diferencia entre ambos radica en el tipo de agarre, dado que en TCR2 y PIMA se cuenta con columnas rígidas y su agarre será por brida, mientras que en TCR3 y ROCO se cuenta con grúas columna con aparejo neumático y cadena, por lo cual su agarre será por gancho. En la **Fig. 63.c** se presenta el gripper con gancho trabajando con cuplas en posición vertical.

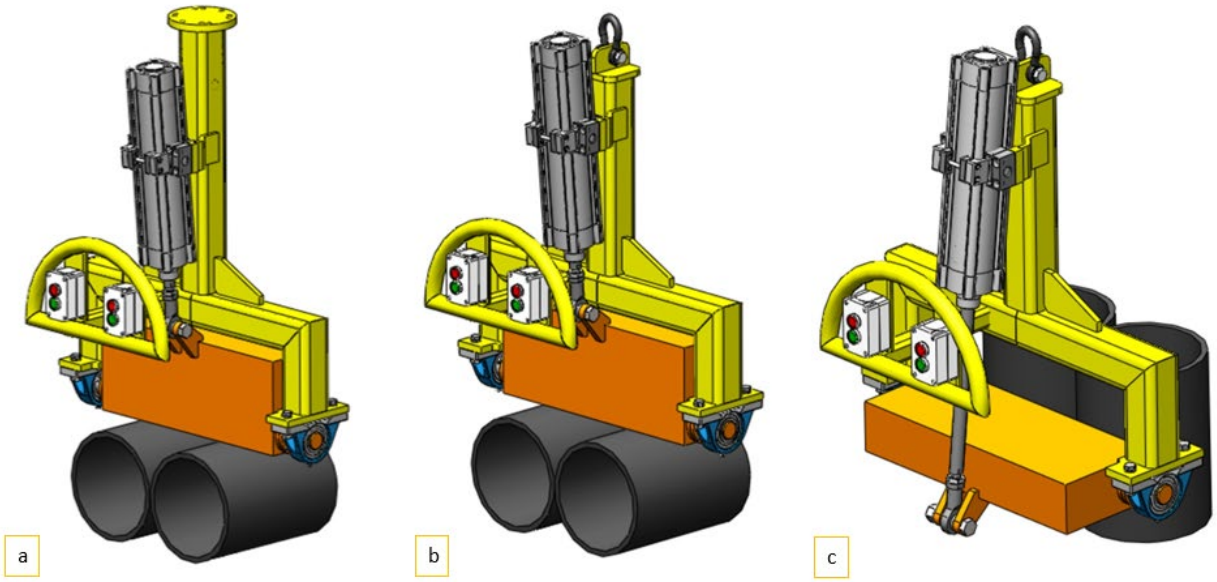


Fig. 63: Grippers diseñados para a) TCR2 y PIMA; y TCR3 y ROCO en posición de cuplas b) horizontal y c) vertical.

El gripper consiste en una percha con un electroimán que soporta las cargas, y cuenta con un cilindro neumático que realiza una rotación de 90° de las cuplas, permitiendo manipularla tanto de forma vertical como horizontal. Los comandos están centralizados en un manubrio con botoneras eléctricas que comandan las electroválvulas y relés necesarios para su funcionamiento. Estos grippers fueron diseñados para movilizar de a dos cuplas de 9 5/8" (la gama más alta fabricada por Siderca), es decir, una carga de 72 kg, sin necesidad de utilizar fuerza humana por parte del operario.

Con la fabricación de estos grippers vino asociado un análisis estructural de las columnas/banderas existentes donde serían instalados, para determinar las cargas máximas que soportan. Esta investigación fue realizada en conjunto con un estudio de Ingeniería (Salinas) que realizan trabajos de este tipo dentro de Siderca. A grandes rasgos, su resultado fue satisfactorio para TCR2, TCR3 y PIMA, pero se encontró que debía reforzarse la grúa bandera de ROCO para que soporte las cargas de trabajo.

Para el caso del LACO1, si bien la carga puede realizarse manualmente, existe otro problema que también debió ser estudiado y solucionado. Mientras que en todas las Líneas anteriormente mencionadas se cuenta con espacio físico para dejar a pie de la carga los capachos o pallets con autoelevador, en TELI el layout

de planta imposibilita el acceso por este medio para la carga de Línea. Con las cuplas provenientes de FOL1 y FOL2 se utiliza el puente grúa para izar los capachos y llevarlos a la zona de trabajo. En el caso de las cuplas provenientes de FOL3, los pallets presentan una imposibilidad operativa para el izaje con puente grúa.

Por este motivo, debió diseñarse una jaula porta pallets como el que se muestra en la **Fig. 64.a**, cuya finalidad es netamente contener el pallet de cuplas durante su izaje y transporte a pie de la Línea de carga. La jaula cuenta con puertas de apertura tanto para cargar los pallets como para facilidad del operario para realizar la descarga. En la **Fig. 64.b** se muestran las primeras pruebas de izaje realizadas con el puente grúa.

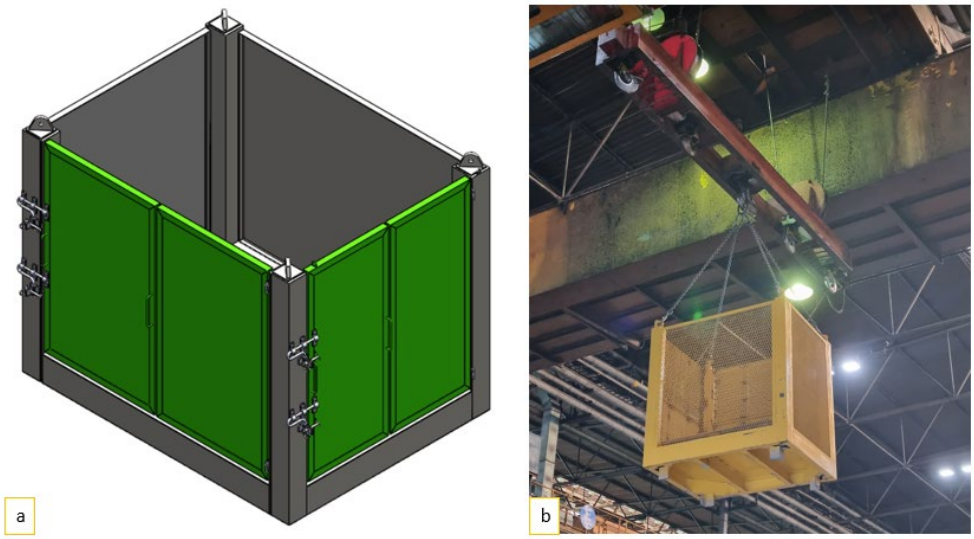


Fig. 64: Jaula porta pallet: a) render, b) prueba de izaje con puente grúa.

Cabe destacar que la ingeniería asociada a todos estos subproyectos es extensa y muy interesante, y podría ser profundizada a nivel de detalle de un capítulo entero debido a la participación activa, background técnico y desarrollo de ingeniería, pero se decide no comentar más que lo presentado en esta sección para no desviar el foco de la FOL3.

3.3.3. Manipulador de cuplas para la carga de FOL3

El sistema de carga de cuplas en la Línea fue otro de los aspectos que se vio impactado debido a los cambios de alcance del proyecto.

En la etapa de definición del proyecto se había pensado replicar el sistema de carga de las Líneas existentes (FOL1 y FOL2) en la nueva Línea de Terminación. Este sistema se denomina "grueta magnética" y su funcionamiento es similar al de una grúa pórtico. Cuenta con una estructura con patines laterales que le permiten trasladarse, mientras que un gran plato magnético puede realizar carreras verticales para la toma y descarga de cuplas, desde un cesto hasta la mesa de entrada, respectivamente.

Para poder tener operativo este sistema, primero era necesario avanzar con la segunda etapa del Master Plan de FACU, el Revamping del Fosfatizado, dado que las cestas que alimentarían la grueta magnética son las mismas que se utilizan para introducir las cuplas en las bateas que contienen las soluciones químicas de este proceso.

En una tercera etapa del Master Plan de FACU se pensaba desmontar la FOL1 y FOL2, e instalar la futura Línea 4 de Terminación (FOL4), paralela a la FOL3 en el espacio disponible en Nave 4. Así, al finalizar

la tercera etapa del MP se tendría las dos terminaciones centralizadas, recibiendo flujos continuos de cuplas desde el Fosfatizado.

Con todo esto, se definió que tanto para la carga de FOL3 como de FOL4 se recuperarían las gruetas magnéticas de FOL1 y FOL2 recién en la tercera etapa del MP. Es por esto que se debió pensar una solución provisoria hasta que pueda ponerse en marcha este sistema, que sea económicamente viable y que no comprometa el tiempo de ciclo de la Línea. Para esto se optó por adquirir e instalar una grúa de columna, aprovechando el stock disponible de un imán permanente y un aparejo neumático en el almacén general de Siderca.

En la **Fig. 65** se observa la grúa columna instalada. Esta columna fue fabricada por un proveedor externo según los requerimientos solicitados, por lo que se realizó toda la documentación necesaria para su compra. Además, para lograr la funcionalidad de este sistema se debió instalar un soporte para las cestas del fosfatizado, las protecciones y una barrera laser para garantizar la seguridad del operario frente a los movimientos del empujador y del autoelevador.

Fig. 65: Disposición de cesta provisoria para la carga con pluma en FOL3

Una vez ya operativa la Línea y con el proyecto de Fosfatizado en etapa de definiciones finales de Ingeniería, se decide comenzar con el desmontaje de los equipos de FOL1 dado que se deriva gran parte de la producción a Nave 4 y esta Línea se encuentra prácticamente parada. Aprovechando esto, se define comenzar por el desmontaje de la grueta de FOL1 y prepararla para ser instalada como sistema de carga en FOL3, tal cual estaba previsto.

En la **Fig. 66** se muestra la grueta magnética instalada en FOL3. El montaje de esta grueta se realizó recién hacia mediados de marzo de 2022, dos semanas antes del inicio de la parada de planta anual de Siderca (REX), donde se implementaría la obra del Fosfatizado. De esta manera, al finalizar la REX se tenía el Fosfatizado trabajando con flujo continuo hacia Nave 4 y la grueta cargando las cestas que salían de este proceso.

Fig. 66: Grueta magnética instalada como sistema de carga en FOL3.

4. Sistema de Aspiración Nave 4

4.1. Estudio Previo

La pintura usada en el proceso de pintado de cuplas (tanto exterior como franjeado) es una pintura comercial en base de laca vinílica, compuesta por partículas orgánicas pesadas. El solvente utilizado para este tipo de pinturas es un solvente compuesto por alcohol etílico, tolueno y butanona (MEK). Las proporciones utilizadas para la mezcla resultante son: 79% pintura de laca vinílica + 21% solvente.

El Sistema de Aspiración (SIAS) de la FOL3 surge por la necesidad de tener que evacuar la mezcla de aire y compuestos volátiles orgánicos (VOC's) resultante del proceso de pintado exterior de las cuplas, que son retenidos por la cabina de pintura y expulsados dentro de la Nave 4.

Por la cabina de contención circula una cortina de agua que capta la pintura remanente que no es adherida a la cupla, arrastrando las partículas más pesadas de la pintura, y haciéndolas pasar por filtros de agua en donde quedan atrapadas. Las partículas más livianas (volátiles) ascienden por detrás de la cortina de agua, impulsadas por el ventilador, por un camino tipo laberintico que obliga a dichas partículas a golpear contra las paredes y les quita energía cinética, debilitándolas hasta llegar a un filtro de aire ubicado en la acometida de la cabina. Si bien este filtro de aire retiene gran parte de estas partículas, el aire restante (con una baja concentración de solvente) lo atraviesa. De no existir el SIAS, ese aire de baja concentración quedaría atrapado en la Nave 4, pudiendo ser un potencial exponente de riesgo de seguridad para los operarios del sector.

Por otro lado, dado que el agua recircula dentro de la cabina, después de cierto tiempo de uso ya se encuentra completamente contaminada, lo que genera una contención deficiente consecuencia de una menor dilución y filtros tapados. Esto refuerza la necesidad de tener un sistema de extracción vinculado a la boca de salida de la cabina de contención de pintura.

El SIAS propuesto para la FOL3 abarca el sistema de ductos, ventilador, flejes, orificios de muestreo, válvulas damper, chimenea y soportería necesarios para evacuar estos gases a la atmósfera, a una distancia prudente para evitar la exposición de los operarios prolongada a estos gases. El punto de partida es la acometida de la cabina de pintado exterior, y el final de la aspiración es la chimenea, ubicada en el techo de la Nave de Fosfatizado.

El SIAS solo evacua los gases provenientes de la cabina de pintado exterior. Si bien en el franjeado también se producen excesos de pintura que no son adheridos a las cuplas, las cantidades de pintura usada para este caso son considerablemente inferiores a las cantidades de pintura usadas para el pintado de toda la cupla (se calcula aproximadamente 1 lts franjeado/20 lts de pintado exterior). Lo mismo sucede para el barnizado, dado que las cantidades son muy escasas. Por otra parte, en el horno se calientan las cuplas para evacuar los solventes de la pintura adherida, pero aquí también las cantidades de solvente evacuadas al aire son muy bajas dado que el horno cuenta con un sistema de realimentación del aire caliente, haciendo pasar dichas partículas por los filtros reiteradas veces y, por lo tanto, siendo su único escape las puertas de entrada y salida al horno. Finalmente, el último punto que podría requerir una boca de extracción es el aceitado, pero este proceso se realiza de manera controlada por un plato metálico que evita los derrames.

4.2. Ingeniería básica

En la Sección 7 (Anexo) se presenta la memoria de cálculo realizada para dimensionar los ductos y el ventilador del Sistema de Aspiración (SIAS). A partir de este dimensionamiento se realizan los planos constructivos iniciales, presentados como la Ingeniería básica en la Especificación Técnica.

4.3. Especificación técnica

La Especificación Técnica (ET) consiste en una serie de documentos anexados a un documento central donde se presenta la Ingeniería básica, restricciones, requerimientos y normativa aplicable a tener en cuenta por los distintos oferentes para poder realizar sus propuestas técnicas en el proceso de licitación.

La ET para el SIAS fue construida y lanzada a licitación en el mes de marzo de 2021. En el alcance original del proyecto, el sistema de aspiración contaba con una plataforma de acceso a los OTM[1], ubicada en el techo de fosfatizado a unos 4 mts de altura, con su propia escalera marinera.

Poco tiempo después de lanzar a licitación el proyecto, surgió la necesidad de poner en reglamentación las chimeneas existentes provenientes de Nave 2 y Nave 3, ubicadas al lado de donde se ubicaría la chimenea de Nave 4. Para esto se decidió construir una pasarela como la que se observa en la **Fig. 67**, con el fin de permitir que un operario suba a realizar mediciones en los OTM de cada chimenea.

Fig. 67: Chimeneas existentes, pasarela nueva y ubicación de la chimenea de Nave 4 (SIAS).

La construcción de la pasarela llevó a frenar la licitación inicial con la idea de quitar la plataforma de acceso única para la chimenea de Nave 4 y unificar el acceso al OTM de esta chimenea con una extensión de la pasarela. De esta forma, se tiene un único acceso por donde los operarios suben y realizan las mediciones de todas las chimeneas de FACU. Este cambió llevo a la reconstrucción de la ET y a realizar una re-licitación del proyecto dos meses más tarde, lo que produjo un atraso considerable en los tiempos del SIAS respecto a los tiempos de la FOL3.

[1] OTM (Orificio toma muestra) son agujeros que se realizan sobre el ducto de la chimenea para insertar un medidor de concentraciones de los gases eyectados. Estos orificios esta regulados por reglamentaciones gubernamentales estrictas en función de la región.

4.4. Licitación

La licitación fue lanzada por Exiros, empresa encargada de administrar las compras del Grupo Techint. Para este proceso se invitan a participar a distintas empresas de ingeniería que puedan diseñar y fabricar todos los componentes necesarios para el SIAS, tomando como referencia la Ingeniería básica presentada en la ET. Para que esto sea posible, deben presentar, dentro de los plazos de licitación definidos por Exiros, su presupuesto y un documento denominado Nota Técnica (NT), que consta de una propuesta de Ingeniería detallando las condiciones contractuales de lo que pueden proveer y los plazos de entrega.

Una vez transcurrido el plazo, desde Ingeniería se analizan las propuestas técnicas de cada proveedor y, en caso de ser necesario, se les pide una revisión de los ítems, aclaración o un mayor detalle. Una vez llegado a un acuerdo técnico con los participantes, desde Ingeniería se da el "OK" técnico a Exiros con el cual quedan habilitados para participar de la etapa de adjudicación.

Finalmente, la adjudicación viene dada por parte de Exiros mediante una evaluación del presupuesto, la recomendación de Ingeniería respecto a la empresa que considera más apta, y un historial de vínculos y experiencias previas con cada proveedor.

4.5. Cronología

El día 25/06/2021 se adjudica la Orden de Compra (OC) a la empresa Rommel como ganador de la licitación. Una semana más tarde, se coordina una primera reunión técnica con el equipo de Ingeniería de Rommel, con el fin de revisar en conjunto la ET y el alcance de la provisión. Luego de esta primera reunión, se comparte toda la información necesaria al proveedor (planos, fotos, especificaciones de suministro energético, etc) para poder comenzar con el desarrollo.

Al momento de adjudicada la compra, el equipo de Ingeniería de Tenaris se encontraba con alta carga de trabajo, abocado por completo a la PEM de la FOL3. Al mismo tiempo, el proveedor trabajaba cerrando proyectos en curso para otros clientes. Tal es así que el inicio del proyecto se vio retrasado 6 semanas respecto a lo pactado, y comenzó recién el día 04/08/2021 con la visita a planta del equipo de Ingeniería de Rommel. Tenaris estuvo de acuerdo en demorar el arranque del proyecto dado que no se tenía una fecha límite para el arranque de la Línea. La entrega de la Línea a Operaciones activó la necesidad de contar con el SIAS cuanto antes, y allí comenzó la presión al proveedor para visualizar avances.

El primer documento que se solicita a Rommel fue un esquema de trabajo con fechas tentativas. A partir del mismo se construye el diagrama de Gantt de todo el proyecto, el cuál es presentado en la Sección 7 (Anexo) a modo de complemento.

Inicialmente el proveedor estimaba la entrega de los equipos en planta para el 29/10/2021. La duración total estimada por el proveedor era de 13 semanas desde que se realizó el relevamiento en campo.

Además de la provisión de equipos por parte de Rommel, en el diagrama de Gantt pueden visualizarse los plazos planificados y reales, referentes a la extensión de la pasarela de acceso al OTM, a la Ingeniería eléctrica del SIAS, y a la ingeniería para la base civil del ventilador. Todos estos ítems convergen en la obra, la cual se planificaba hacia fines de octubre.

Toda la planificación del proyecto se realiza en base a la estimación de plazos de Rommel. A medida que el proyecto avanzaba (y se comenzaban a hacer visibles los retrasos), algunas fechas se fueron corriendo para alinearse con la entrega de equipos. Tal es así que el diagrama de Gantt muestra una planificación final muy similar a la original, pero con un corrimiento que representa los retrasos del proyecto.

Finalmente, los equipos fueron entregados en planta el día 07/12/2021, es decir, 6 semanas retrasadas respecto a lo que habían estimado en su esquema de trabajo. En el diagrama de Gantt podemos notar que el 06/12/2021 hay una línea roja que representa la fecha en que el proyecto fue despriorizado de la cartera de Ingeniería, y se procedió a frenar la ejecución de la obra. Todo esto será explicado con mayor detalle en la Sección 4.7.

4.6. Diseño final

El desarrollo del proyecto con Rommel comienza con su primera visita a la FOL3, realizado el día 04/08/2021. Esta recorrida se realiza con los planos adjuntos en la ET, y se definen algunos detalles constructivos del SIAS, como ser el recorrido de los ductos y su soportería. Además, el equipo de Rommel realiza un relevamiento completo del espacio físico disponible en la Nave, con el fin de contrastar sus mediciones con los planos provistos por Tenaris. Luego de la visita del proveedor, el curso del proyecto continua remoto y se brinda asistencia desde Ingeniería con relevamientos en campo, en caso de necesitarse.

Lo primero a definirse para el SIAS es la recorrida de los ductos. Dado que la movimentaciones de cargas dentro de la Nave se realiza con autoelevadores (no hay "grúas puente"), el principal factor de diseño termina siendo la estética visual. Lógicamente se busca hacer un sistema robusto, con baja perdida de carga, pero que a la vez no sea disruptivo con la estética de una Nave completamente nueva y automatizada.

En la **Fig. 70** y **Fig. 71** se presentan ilustraciones extraídas del render 3D de FACU, donde se visualiza el SIAS en el interior y exterior de N4, respectivamente. El SIAS se integra dentro del modelo 3D de FACU, realizado por el equipo de Ingeniería de Detalle (DEEN) con el programa Navisworks, a partir de los planos finales provistos por Rommel. Se utilizarán estas imágenes para explicar las decisiones de diseño referentes al recorrido de ductos.

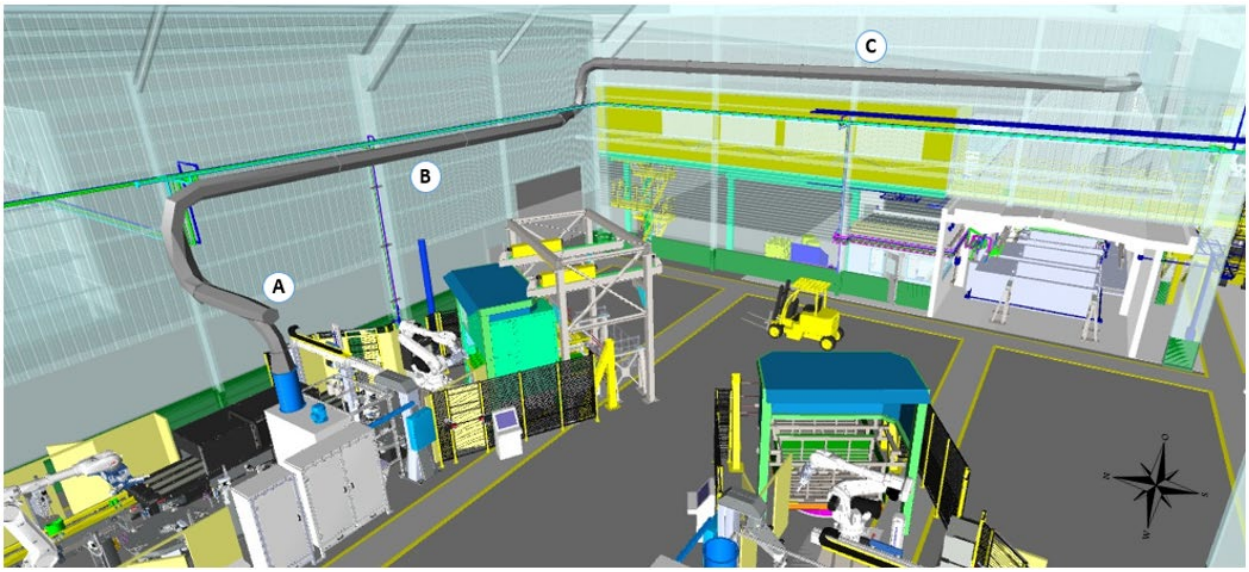


Fig. 68: Render 3D SIAS - N4 Interior.

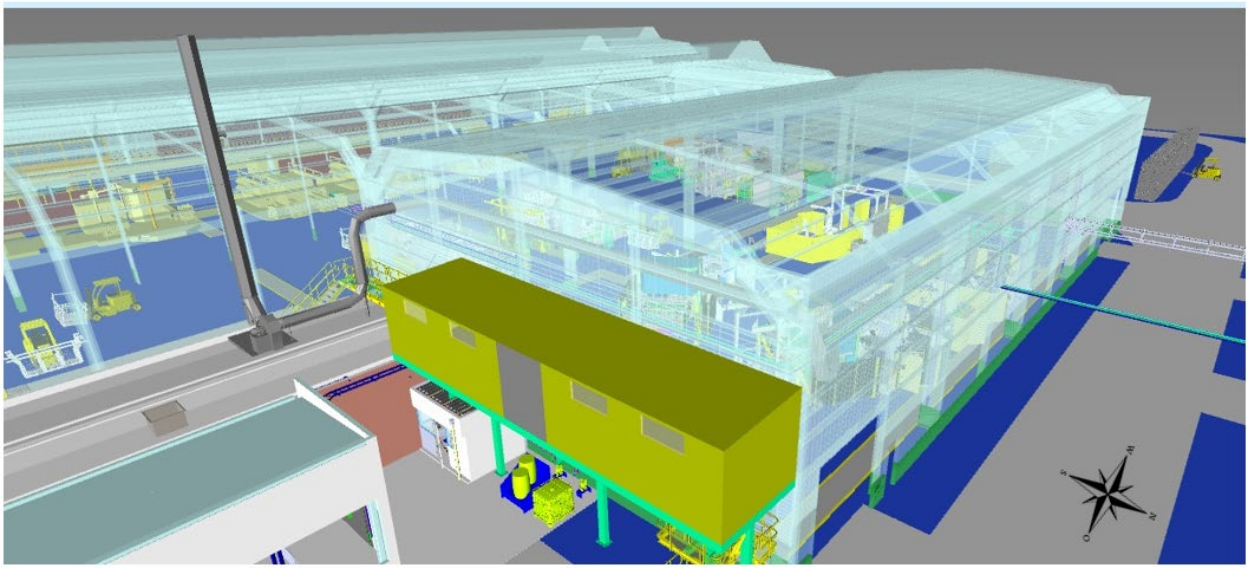


Fig. 69: Render 3D SIAS - N4 Exterior.

En la **Fig. 70** vemos que el SIAS sale con su acometida desde la cabina de contención de pintura hacia la pared lateral de la Nave. El SIAS se diseña con una fuerza de extracción suficiente como para poder aspirar los VOCs de la cabina de pintura de FOL3, y de la cabina de pintura que tendrá la futura Línea de Terminación 4 (FOL4), la cual, como ya se explicó, será montada en paralelo a FOL3 a lo largo de la Nave 4 como una etapa futura del MP de FACU. El recorrido de ductos **(A)** muestra una boca de empalme cerrada para realizar esta conexión futura. Para este subconjunto de ductos, la principal limitación de diseño es la altura del tramo horizontal, la cual posee un umbral mínimo por los propios movimientos de los autoelevadores dentro de la Nave.

En el interior de la Nave notamos la red de suministros energéticos (cañerías de aire y agua) bordeando de forma perimetral las paredes Norte y Este. El soporte de estas cañerías se realiza a partir de un reticulado perimetral, el cual se fija a las columnas y parantes, como puede notarse en la **Fig. 72.b**. A este reticulado se fijan soportes de cuatro niveles equidistanciados, como se observa en la **Fig. 72.a**, que soportan las bandejas portacables y las cañerías neumáticas e hidráulicas. En la **Fig. 72.c** podemos apreciar un corte extraído de los planos de la Nave, donde se esquematizan las posiciones de las 3 bandejas porta cables (**1**, **2** y **3**) y de los circuitos de alimentación neumático e hidráulico (**4**). Desde el diseño se busca que el subconjunto de ductos **(B)** se sujete en la posición **5** esquematizada en la **Fig. 72.c**, inferior al nivel de cañerías neumáticas e hidráulicas.

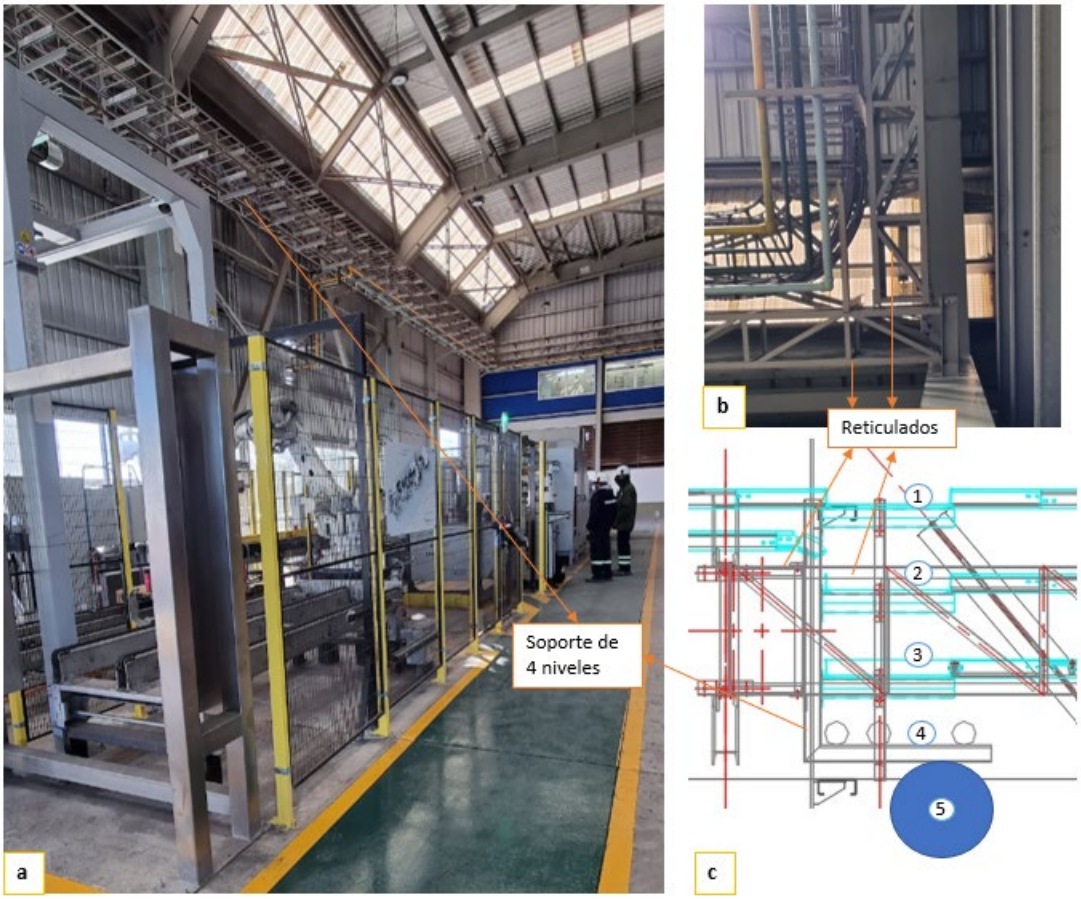


Fig. 70: Soporte de bandejas porta cables y cañerías neumáticas e hidráulicas: (a) disposición en la Nave; (b) fijación a la Nave; y (c) esquema del soporte y ubicación de suministros.

Para acceder al techo del fosfatizado, es decir, donde se ubicará el ventilador y la chimenea, los ductos deben atravesar la pared Norte justo por encima de donde se encuentra el portón de acceso a la Nave de fosfatizado. Como se observa en la **Fig. 71**, en el exterior de la Nave a la altura donde vienen los ductos, se ubica un pasillo que conecta Nave 3 con la sala de tableros de Nave 4. Debido a esto, se debe atravesar la pared Oeste a una altura superior, para no interferir con dicho pasillo.

La unión entre los subconjuntos de ductos **(B)** y **(C)** se realiza de forma tal de aprovechar el espacio disponible entre las bandejas porta cables y la pared interior de la Nave. Para eso se debe conectar 3 curvas como se muestra en la **Fig. 70**, intentando reducir las pérdidas de carga con radios de curvatura grandes. Con este diseño se logra que el tramo de ductos **(C)** pase por encima de las ventanas de la sala de tableros, lo más cerca posible de la pared interior de la Nave, por lo que no se obstruye la visión desde la sala de tableros y se mejora la estética, sin grandes pérdidas de carga asociadas.

Para una mejor comprensión de los detalles constructivos del SIAS, consultar la Sección 7 (Anexo) donde se presentan los planos finales provistos por el proveedor y aprobados por Ingeniería para la fabricación de los equipos.

En la **Fig. 70** podemos ver un detalle de la pasarela existente para acceder a los OTM de las chimeneas de FACU. Para diseñar la extensión de la plataforma, se busca copiar la estructura original fabricada con perfiles UPN 200 y mantener la distancia entre vigas.

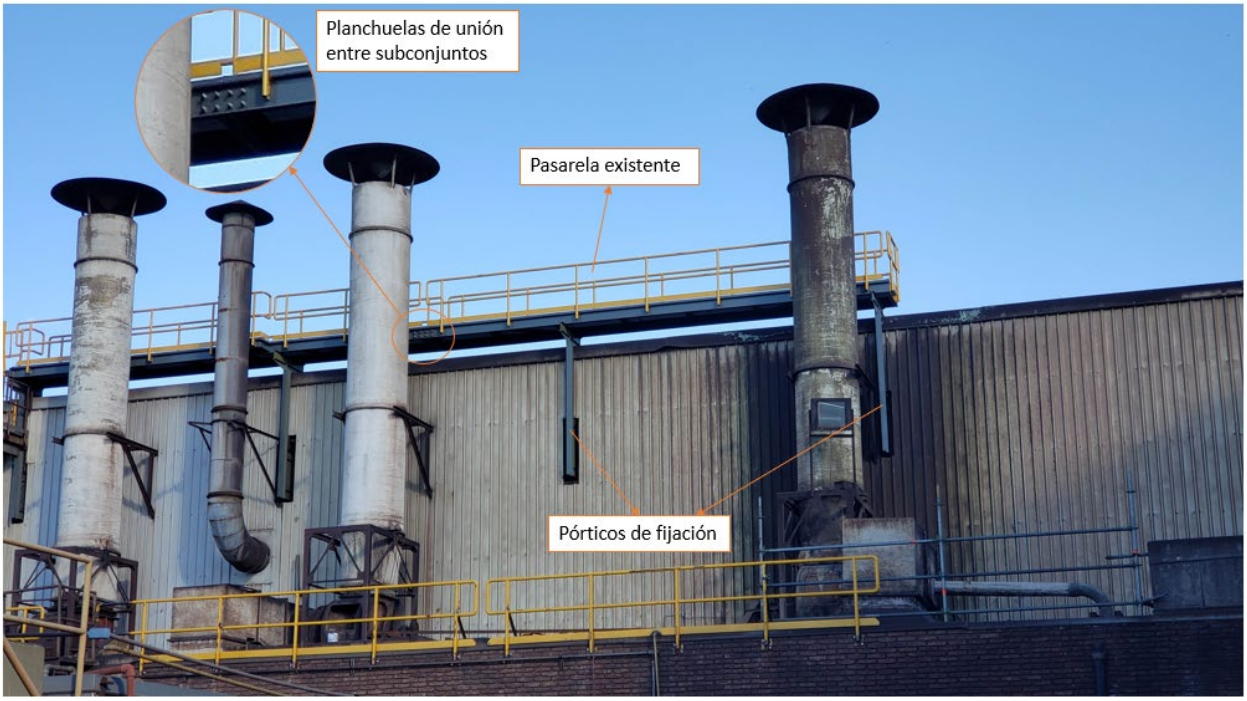


Fig. 71: Pasarela de acceso a OTM's existente.

La sujeción de la plataforma existente a la Nave se realiza con los pórticos, los cuales se sueldan a las columnas y parantes de la Nave (ubicadas entre si a 6 metros de distancia). El espacio disponible para instalar la nueva chimenea obliga a que la extensión de la plataforma solo sea soportada por un pórtico en vez de dos. El otro punto de fijación para la extensión de la plataforma se diseña en su unión con la plataforma existente, donde se utilizará una placa soldada para vincular las almas de los perfiles UPN laterales.

Por disposición gubernamental la chimenea debe tener dos OTM dispuestos a 90° entre sí para poder evaluar las concentraciones de los gases. Debido a esto, la nueva plataforma se diseña con forma de "L" para tener acceso a ambos lados y, el pórtico que se fabrica para apoyar la plataforma y soportar las cargas con la columna de la Nave, debe tener su traversa mayor a la de los pórticos existentes, dado que debe cubrir el voladizo del lado chico de la plataforma. Además, se diseña el largo de la plataforma para que el pórtico quede centrado en el ancho del pasillo del lado corto. Todos estos detalles constructivos se comprenderán mejor al analizar los planos finales realizados para la fabricación de la plataforma de acceso al OTM, los cuales son presentados en la Sección 7 (Anexo).

Con el largo de la plataforma definido por su soporte y fijación a la estructura de la Nave, se procede a definir la posición de la chimenea y, por lo tanto, la posición final del ventilador, lo cual se informa al equipo de Rommel para ajustar su Ingeniería.

En la **Fig. 74** se presentan imágenes de la zona donde se instalará la chimenea y el ventilador, en el techo de la nave de Fosfatizado. Se toman mediciones del desnivel del suelo notando una pendiente de aproximadamente 6° en la zona de trabajo. Con esto se define que es necesaria la construcción de una platea de hormigón para nivelar el piso y soportar las cargas del ventilador y el soporte de la chimenea.

Fig. 72: Zona disponible para montar ventilador y chimenea.

Desde el equipo de Ingeniería Civil definen realizar una platea de hormigón similar a la existente para los otros ventiladores, con las dimensiones mostradas en la **Fig. 75**, hasta el nivel +7.66mts. Esta información resulta suficiente para que el equipo de Civiles de Techint pueda continuar con la obra.

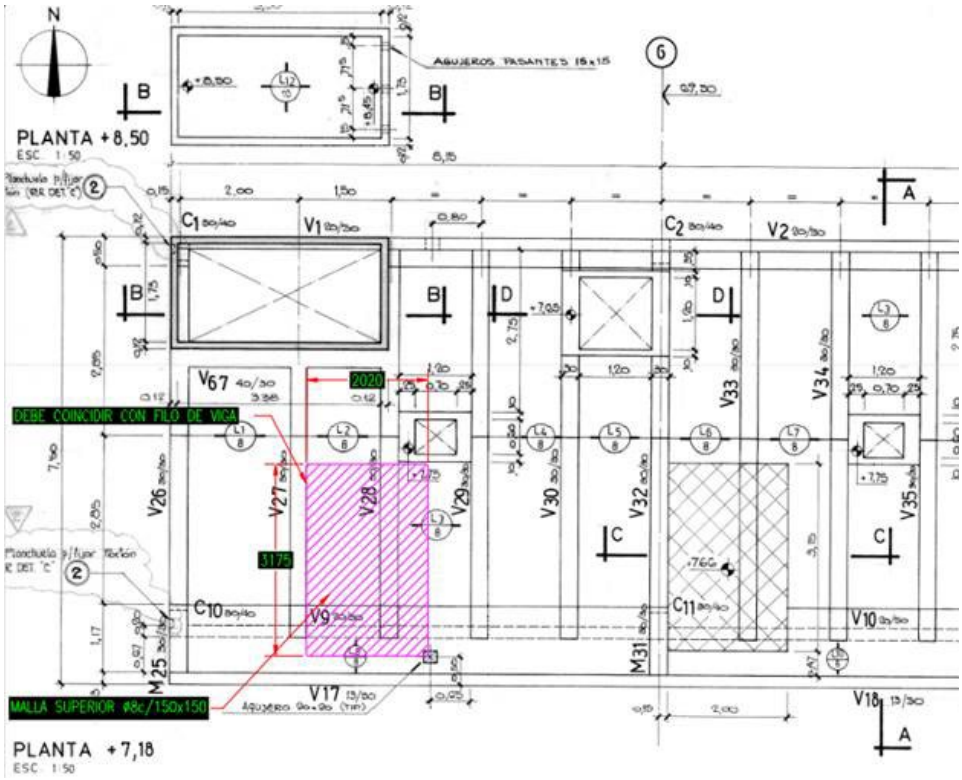


Fig. 73: Dimensiones y ubicación física de la platea de hormigón.

En cuanto a la ingeniería eléctrica del SIAS, el desarrollo fue realizado por el equipo de eléctricos de DEEN, y posteriormente revisada y aprobada por PREN. Las principales decisiones de Ingeniería con el circuito eléctrico fueron las siguientes:

- El circuito debía tener dos comandos posibles: desde la Línea, utilizado en condiciones normales de operación; y desde la zona donde se ubica el ventilador, el cual se usaría cuando se quiera tomar muestras de los OTM's o para facilidad de intervención de Mantenimiento.
- El motor y ventiladores actuales que venían instalados en la cabina de contención de pintura se deben quitar y se anulan desde el tablero correspondiente.
- El TDA (Tablero de Alimentación) se ubicaría en la sala de tableros de Nave 4.

La documentación final correspondiente a la Ingeniería eléctrica del SIAS se decide no adjuntarla dada la escasa participación del autor en esta etapa del proyecto.

4.7. Planificación de obra y caída del proyecto

4.7.1. Generalidades

Debido a los retrasos del proyecto, la obra se terminó planificando hacia la segunda semana de diciembre de 2021. Este mes, en particular, resultó ser uno de los meses de mayor carga laboral para el equipo de Ingeniería y Techint después de la pandemia de Covid-19, debido a la necesidad de comenzar las obras de la REX (a realizarse en febrero de 2022), que resultaba la más complejas de los últimos 3 años. No solo los recursos y mano de obra eran escasos en planta, sino que se debió comenzar a contratar personal que aún no estaba calificado para llevar adelante la mano de obra de los proyectos. Bajo este contexto, resultaba muy complicado conseguir recursos para realizar las tareas del SIAS, más aún teniendo que competir contra otros proyectos de mayor envergadura.

Las actividades de obra se pensaron de la siguiente manera:

- El domingo 05/12/2021 comenzaron las tareas eléctricas. Se aprovechó que la FOL3 no trabaja el domingo para realizar los cortes energéticos desde la sala de tableros de Nave 4, y poder instalar las protecciones del circuito eléctrico del SIAS en el CCM correspondiente. La obra eléctrica continuaría con la instalación de equipos (tablero de comando, tendido de cables, etc) hasta el día 08/12/2021, dejando para el día posterior las conexiones finales.
- El día 06/12/2021 se daría inicio a la obra civil para realizar la platea de hormigón para el ventilador y soporte de la chimenea. Si bien la obra no era compleja y se demandaba tan solo un día de trabajo, los tiempos de la obra civil se extendían 4 días más debido al tiempo de fraguado del hormigón.
- El día 08/12/2021, con los equipos provistos por Rommel ya entregados en planta, comenzarían las tareas de montaje mecánico. Aquí la planificación consistía en avanzar con el montaje de ductos desde la cabina hacia la chimenea, dejando para los últimos 2 días de obra el montaje del ventilador, la chimenea y su soporte, dándole tiempo así a que finalice el fraguado del hormigón.

El lunes 06/12/2021, cuando se estaba por comenzar a construir la platea de hormigón, se debieron reasignar a último momento los recursos civiles a otra obra en curso que debía avanzar con las tareas pre-REX. Además, ese mismo día se notificó la necesidad de reasignar los recursos mecánicos programados para dos días más tarde, a otra obra que requería tareas previas a la REX. Con todo esto, se debió suspender la obra completa del SIAS, sin fecha de reprogramación debido a la alta demanda de proyectos.

4.7.2. Gestión de recursos para la obra

La mano de obra mecánica, civil y eléctrica es proporcionada por la gente de Techint Ingeniería & Construcción. Unos días previo a la obra se realiza una reunión con los mánager de cada especialidad en campo y se definen los detalles del plan de acción a ejecutar. Los mánager pasan un presupuesto por el trabajo en HHs y, luego se coordina una reunión con los planificadores de Ingeniería y Techint para asignar la mano de obra en las fechas necesarias, dependiendo de la disponibilidad de recursos. Con el planificador de Techint, además, se coordina el alquiler de equipos de asistencia mecánica (y sus choferes) para la obra, es decir, grúas y JLGs.

Una vez asignados los recursos en las fechas definidas, comienza el armado de la documentación de obra. El principal documento es la Orden de Trabajo (OT), donde se detalla toda la información correspondiente a la obra como ser: descripción y análisis de riesgo de las tareas, fechas y cantidad de horas, zona de trabajo, tipos y número identificatorio de cortes de suministro necesarios, fichas de seguridad y ambiente de la tarea, firma de responsables, entre otra información. Además, la OT mecánica requiere un circuito de firmas particular por ser una OT de alto riesgo debido a que requiere trabajo en altura, tanto para las tareas de colocación de soportes en la Nave y fijación de ductos, como para la instalación de la extensión de la pasarela y las tareas de soldadura en altura.

Luego, con la OT aprobada por todos los responsables, se coordina una reunión en campo con los supervisores de la obra. Esto en general se realiza el día previo a que comiencen las tareas. Allí se revisa la OT, y se coordina los primeros movimientos de verificación de cortes de suministros (realizados por los propios supervisores). También se coordina la logística para traer los materiales para la obra desde el almacén de Ingeniería. Una vez realizado todo esto, se inicia la obra.

4.7.3. Caída del proyecto

Como se explicó anteriormente, un cambio de gerencia en Ingeniería unos días previo a la obra, derivaron en un nuevo rumbo y estrategia del sector. Al momento de comenzar la obra civil de la platea de hormigón, se decidió sobre la marcha reasignar los recursos a otro proyecto de mayor prioridad para la nueva gerencia. Además, se cancelaron los recursos mecánicos solicitados para el montaje de equipos para que trabajen en otra obra. Con todo esto, se suspendió la obra completa del SIAS para las fechas en que estaba programada.

Posteriormente, se realizaron algunas reuniones con la nueva gerencia para acordar el futuro del proyecto. Luego de revisar la documentación y la Ingeniería realizada, la gerencia solicitó contratar un estudio externo de Ingeniería para medir las concentraciones de VOCs a las que se encuentran expuestas los operarios en el turno. Para esto, se les asignaba un aparato toma muestra a cada operario que debían llevar consigo en todas las tareas que realizaran en su desarrollo laboral normal.

El informe con los resultados del estudio concluye que los operarios no están expuestos a concentraciones de VOCs por fuera de los límites dispuestos en las resoluciones gubernamentales vigentes. Este estudio es revisado por el equipo de Higiene y Seguridad (HSE) y de Ambiente (ENVI) de Tenaris para validar los resultados. Con este informe como respaldo, la gerencia de Ingeniería decide que no resulta necesario instalar un Sistema de Aspiración para FOL3 desde un punto de vista técnico. Además, el SIAS no fue contemplado desde la etapa de estimación de costos del proyecto FOL3, dado que, al momento de plantear las definiciones junto a Operaciones, no se incluyó en el alcance original del proyecto.

Bajo el contexto explicado, la gerencia de Ingeniería deriva a Operaciones el costo de montaje del SIAS, que hasta ese entonces representaba un 30% del costo ya invertido. Es entonces el equipo de Operaciones de FACU quien decide no instalar el SIAS y, finalmente, se da por finalizado el proyecto.

4.7.4. Situación actual

Hacia fines de 2022, surgieron solicitudes gremiales por la falta de un Sistema de Aspiración en la Línea. Ante esta situación, desde Operaciones decidieron instalar un filtro a la salida de la cabina de contención de pintura para purificar el aire, el cual se visualiza en la **Fig. 76**.

Fig. 74: Filtro instalado en la acometida de la cabina de contención de pintura.

En las **Fig. 77 a 79** se presenta una comparativa de algunas imágenes tomadas en 2021 y otras actuales. Notar que en las imágenes actuales se observa la zona de trabajo cubierta de un polvo (mayormente rojo), el cual se debe a los residuales del proceso de pintado. Esta condición se observa en general en toda la Nave 4, y se habría evitado de contar con un Sistema de extracción funcionando, dado que los VOCs serían expulsados por fuera de la Nave.

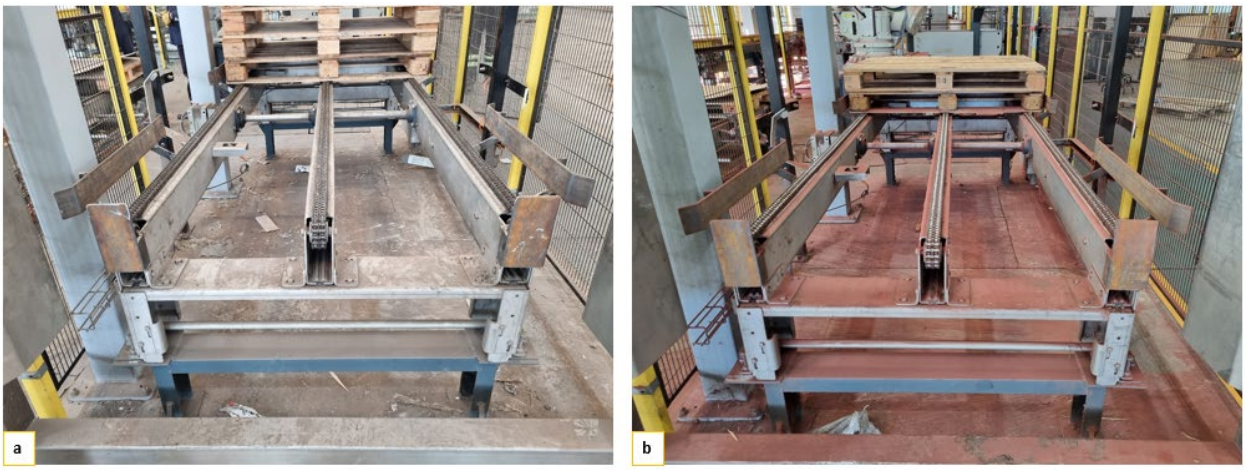


Fig. 75: Cadena de entrada de pallets en (a) 2021, y (b) 2023.

Fig. 76: Cadena de salida de pallets en (a) 2021, y (b) 2023.

Fig. 77: Celda de terminación en (a) 2021, y (b) 2023.

Hoy en día, con la FOL4 ya operativa en Nave 4, las solicitudes gremiales continúan (e incluso se intensificaron), dado que son dos cabinas de contención de pintura las que arrojan sus residuos dentro de la Nave. Incluso, desde la gerencia, se está planteando la idea de reflotar el montaje y puesta en marcha del sistema de extracción.

5. Conclusiones

5.1. Reflexiones

5.1.1. PEM FOL3

El proyecto completo de la FOL3 se vio fuertemente afectado por la pandemia de Covid-19. Más aún, la FOL3 comenzó como una iniciativa hacia fines de 2019, siendo que gran parte de su etapa de diseño fue realizada durante los primeros meses de la pandemia. Lógicamente, esto trajo grandes cambios de alcance asociados mientras el proyecto marchaba, algunos de gran impacto en los plazos de la etapa de definición, y otros con un impacto mayor hacia la etapa de PEM. Además de los cambios de alcance, la situación con los proveedores durante los primeros meses era crítica y algunos retrasos se terminan asociando a la falta de cumplimiento por parte de los mismos, también justificados a causa de la pandemia.

Los diversos cambios de alcance que surgieron en la etapa de diseño no solo afectaron a los tiempos del proyecto, sino que también tuvieron un impacto en los costos. Las principales voces donde puede verse el impacto de las decisiones tomadas, los cambios de alcance y los incumplimientos de los proveedores son las siguientes:

Tareas no programadas de PEM

A lo largo del documento se explicó que el fabricante no realizó las pruebas completas de funcionamiento de la Línea en sus instalaciones, lo cual trajo como consecuencia el tener que corregir la programación de los equipos para lograr las funciones requeridas y alcanzar los tiempos de ciclo definidos en la Nota Técnica. Para ello se realizaban pruebas, modificando la lógica y los parámetros de movimiento de las máquinas críticas, algunas de las cuales resultaban con interrupciones operativas de la PEM, generando retrasos en el proyecto y sobrecostos por mano de obra y repuestos.

Consumos de cuplas en pallet

En el alcance original del proyecto, la FOL3 estaba pensada para realizar la cosmética de cuplas y empaquetarlas en capachos, tal como se realizaba en FOL1 y FOL2. Ya con el proyecto en marcha y la compra adjudicada al fabricante, se plantea la posibilidad de incluir la celda de paletizado para sacar pallets de cuplas listos para exportación, sin necesidad de tener que realizar un paletizado manual posteriormente. La situación del proyecto para ese entonces permitía avanzar con este cambio de alcance y readaptar la Línea para concretar la idea.

Este cambio de alcance resultaba beneficioso productivamente, pero traía asociada la necesidad de repensar la forma en que los consumos internos de cuplas dentro de Siderca pudieran recibir pallets en vez de capachos. Mientras la FOL1 y FOL2 estuvieran operativas esto no era un problema, pero al momento de desmontarlas y armar la FOL4, los clientes internos debían estar listos para el cambio.

Finalmente, esto último no ocurrió y se debió dejar operativa la FOL2, aún posterior al montaje de la FOL4, para poder seguir enviando capachos de cuplas. Lo que ocurrió realmente es que, desde la etapa de definición del proyecto, se subestimó la Ingeniería necesaria para poder recibir cuplas en pallets en los consumos internos. Si el impacto sobre los consumos se hubiera estudiado y atacado desde la etapa inicial del proyecto, los clientes podrían haber recibido las primeras ordenes de cuplas paletizadas procesadas por FOL3.

Sistema de Aspiración en FOL3

Desde la etapa de diseño del proyecto no se planteó la necesidad de incluir un Sistema de Aspiración para los gases residuales del proceso de pintado en FOL3, aún a pesar de que en la FOL1 y FOL2 sí se contaba

con un sistema de extracción. Finalmente, con el montaje de los equipos en curso, se decidió que el Sistema de Aspiración debía ser considerado e incluirse como un ítem necesario en el alcance del proyecto.

La complicación asociada a este cambio de alcance vino dada por la necesidad de coordinar los recursos para no interferir con el curso de la PEM, y contar con disponibilidad de los mismos para realizar la gestión y mano de obra del proyecto sin impactar en otros proyectos de mayor prioridad.

Sistema de carga de FOL3

El otro aspecto donde se vio un gran impacto fue en el sistema de carga de la Línea. Dada la decisión de dejar operativa la FOL1 y FOL2 y postponer el montaje de la FOL4 hasta después de realizada la segunda etapa del MP, se debió invertir una sumatoria considerable de horas, recursos y dinero en un sistema de carga provisorio que duraría poco tiempo en funcionamiento.

5.1.2. SIAS N4

En 2020, con la pandemia de Covid-19 hubo una reducción del personal de Ingeniería, así como también ocurrió en las empresas que proveen materiales y mano de obra para el sector, y en los talleres con los que se trabaja ordinariamente. La cartera de proyectos en curso para ese entonces era muy escasa y solo se priorizaban urgencias productivas.

Hacia 2021 el panorama era totalmente diferente y se proyectaba un crecimiento a nivel empresarial que traería aparejados grandes inversiones en Siderca y, por lo tanto, mayor cantidad de trabajo para el sector. Los proyectos que comenzaban a aprobarse requerían equipos de trabajo más completos, un ingreso de personal capacitado y la dedicación plena de cada integrante de Ingeniería.

El SIAS nació y se desarrolló bajo ese contexto. Desde el instante en que se comenzó a avanzar con el proyecto, surgieron varios retrasos, algunos a causa de decisiones tomadas desde la gerencia, y otros debido a incumplimientos del proveedor, pero todos mayormente asociados al contexto comentado en el párrafo anterior: una alta carga de trabajo y una baja disponibilidad de recursos.

Estos retrasos hicieron que la etapa de obra se postergara hacia el mes de diciembre, donde el SIAS comenzó a competir por los recursos contra los proyectos de REX que tenían tareas previas a la parada de planta. Estos proyectos, justamente, eran aquellos de mayor envergadura en la cartera de trabajos en curso para ese entonces, por lo que pocas eran las chances de asignar recursos al SIAS hasta después de la REX.

Con todo esto se puede entender que los retrasos que ocurrieron en el proyecto terminaron siendo la causa principal de no tener el SIAS funcionando actualmente. La alta carga de trabajo obligaba a retrasar el cumplimiento de algunas tareas, y se terminaban priorizando aquellas que tenían un mayor impacto y necesidad.

Por otro lado, si bien los estudios de las mediciones de VOCs a las cuales se exponen los operarios dieron dentro de los limites ambientales impuestos en las resoluciones gubernamentales, es clara la existencia de material particulado en el ambiente. Estos residuos del proceso de pintado traen consecuencias visuales y estéticas en la zona de trabajo, las cuales podrían haberse evitado frente a la presencia de un sistema de extracción, dado que los gases podrían ser guiados fuera de la Nave. Aun a pesar de que las emisiones se encuentran dentro de los límites establecidos, resultaría útil repetir estas mediciones en un tiempo más representativo.

5.2. Aprendizajes

Con todo lo presentado en este informe se presentan los aprendizajes finales:

- Es importante considerar todos los hitos que hacen al proyecto desde la etapa de diseño. Toda esta problemática resulta más compleja si no se abarca desde el diseño, dado que ya no se puede explorar las ideas más eficientes, sino que hay que adaptarse a las decisiones ya tomadas o, en tal caso, realizar modificaciones de mayor complejidad que requieren una alta demanda de tiempo y mayores costos asociados.
- Cuando una parte del proyecto no es considerada desde la etapa de diseño y, posteriormente, se termina concluyendo que la misma resulta necesaria, ocurren desvíos sobre el presupuesto inicial que pueden ser de gran impacto en el costo final. Al desviarse del presupuesto se tiende a reducir lo mayor posible el costo asociado y eso puede llevar a tomar decisiones que terminen siendo perjudiciales para el proyecto. Esto refuerza la importancia de abarcar desde la etapa de diseño todas las voces involucradas.
- Se debe tener especial cuidado con los cambios de alcance cuando el proyecto se encuentra en curso. Antes de tomar cualquier decisión, es importante tener en cuenta el impacto que tendrá en cada estadío del proyecto y las consecuencias directas sobre los clientes y usuarios.
- Los retrasos en los proyectos nunca son buenos. Aun cuando el contexto en el cual se está desarrollando el proyecto permita modificar las fechas, el propio contexto varia constantemente en una industria tan cambiante y las decisiones pueden ser perjudiciales para el propio proyecto.
- Es importante destacar la importancia de la comunicación cuando ocurre un inconveniente que requiere la interrupción del curso normal de la PEM. Ante estos eventos es necesario realizar un rápido análisis del problema y tomar decisiones efectivas, para lo cual resulta fundamental contar con el apoyo técnico y logístico de cada especialidad para buscar la solución óptima y minimizar los tiempos de interrupción.
- Por último, resulta de gran valides destacar la importancia de contar con disponibilidad de recursos y materiales a la hora de realizar la PEM. Una buena gestión de repuestos y disponibilidad de mano de obra calificada tienen un impacto positivo en los tiempos de intervención que, en general, resultan inevitables en proyectos a gran escala como el que se presentó en este trabajo.

6. Bibliografía

ENGI, Tenaris. (2017). *FACU - Efficiency improvements - 1st step (phosphatizing, cutting and boring, tray loading/unloading robots).*

Olgiati, R. (2009). *Optimización del proceso de fabricación de cuplas.*

Techint Group. (2020). *Brochure.*

Tenaris. (2020). *Reporte anual.*

Tenaris. (2014). *IPRFI012-GCU - Cosmetica de Cuplas.*

Tenaris. (2018). *OPP03595/4 - Cosmetica de cuplas.*

Tenaris. (2021). *PRD24081/7 - Procedimiento de Embalaje de Acoples terminados.*

Tenaris. (2021). *PRD24139/9 - Procedimiento Pintura y Estencilado de Acoples FACU.*

Soler & Palau. (2002). *Manual práctico de ventilación.*

7. Anexo

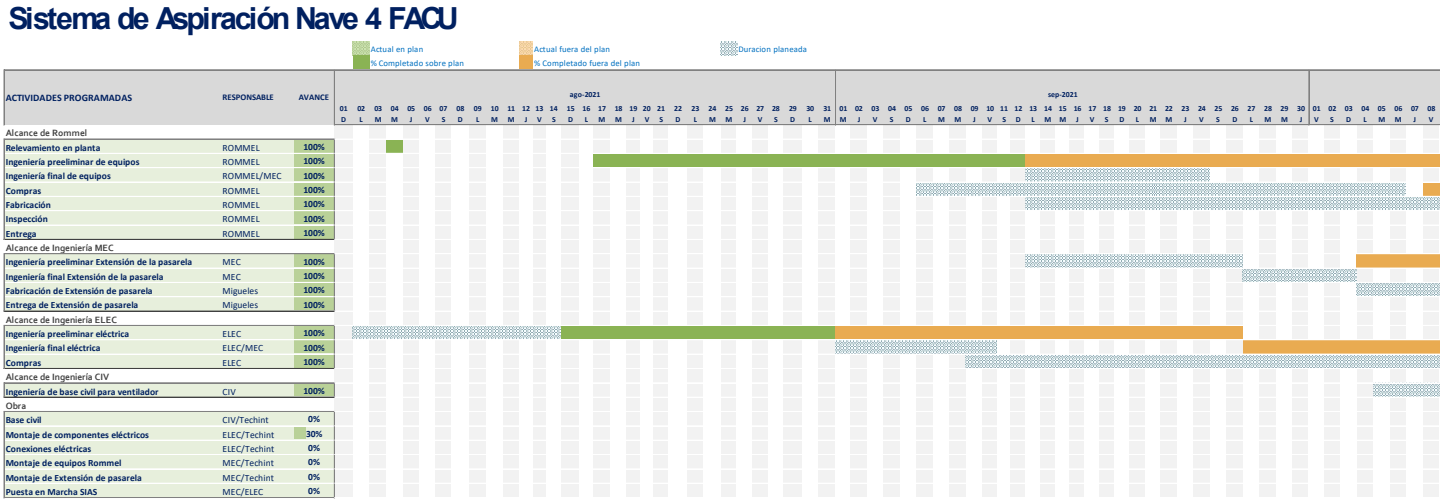


Fig. 78: Diagrama de Gantt SIAS Nave 4 – Hoja 1.

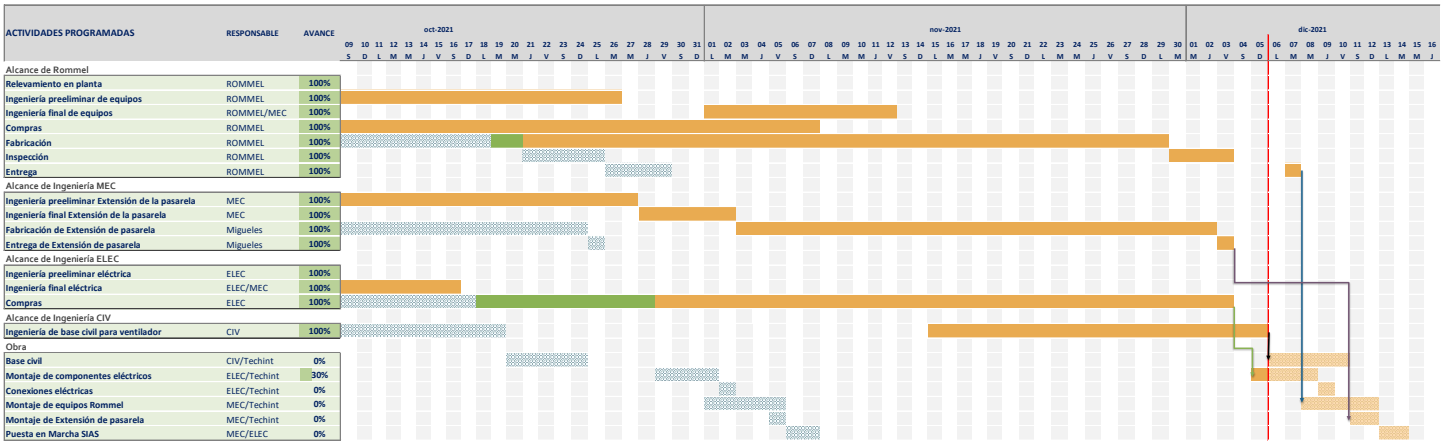


Fig. 79: Diagrama de Gantt SIAS Nave 4 – Hoja 2.

Documentos Anexados:

- ***SD07-M-GRL01-0006796 R0B – Memoria de cálculo***: Cálculos realizados para el dimensionamiento del SIAS, donde se incluyen diámetros de ductos, caudales, velocidades, perdidas de carga y ventilador seleccionado.
- ***8280-A – Sistema de Aspiración – Vista en Planta:*** Plano constructivo final realizado por Rommel y aprobado por el autor, vista en planta.
- ***8280-b – Sistema de Aspiración – Cortes:*** Plano constructivo final realizado por Rommel y aprobado por el autor, cortes.
- ***6-0456-8262 – Extensión de pasarela de acceso al Toma Muestra – Conjunto:*** Plano constructivo final realizado por el autor para la construcción de la plataforma de acceso al tomamuestra, conjunto.
- ***6-0456-8263 – Extensión de pasarela de acceso al Toma Muestra – Pasarela P1:*** Plano constructivo final realizado por el autor para la construcción de la plataforma de acceso al tomamuestra, detalle de la pasarela.
- ***6-0456-8264 – Extensión de pasarela de acceso al Toma Muestra – Pórtico:*** Plano constructivo final realizado por el autor para la construcción de la plataforma de acceso al tomamuestra, detalle del pórtico.

REFERENCES:

ONLY FOR FILE USE

REV.	DESCRIPTION	CeCo Client	OFFICE	NRP Nº	DRAWN	CHECKED	APPRO.	VoBo	DATE
A	PARA COMENTARIOS	P.200186500.72	BUE		MIO	ZIT	PUM	FAL	10/04/21

TenarisSiderca

Tenaris Ingeniería

PLANT N°

Date	10/04/21
Drawn	MIO
Designer	MIO
Check	ZIT
Approved	PUM
By plant check	
By plant approved	

PLANT OR GROUP FACU **LINE OR USER** LINEA 3 **EQUIPEMENT** GRAL

LINEA 3 DE TERMINACIÓN

SISTEMA DE EXTRACCIÓN

MEMORIA DE CÁLCULO

"Confidential property of TENARIS S.A. and subsidiary companies. Copy, use or disclosure of this document or any data contained herein for any purpose to third parties without the express written consent of TENARIS S.A. and subsidiary companies is prohibited. Copyrighted 2009 as an unpublished work. **ALL RIGHTS RESERVED.**"

SCALE:

DIMENSION: mm

UNLESS OTHERWHISE STATED

SD07-M-GRL01-0006796 A

Replace to/for

SIZE **A4**

INDICE

1 OBJETIVO 3
2 DATOS DE PARTIDA 3
3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO 4
4 MÉTODO ADOPTADO 4
5 VENTILADOR 10
6 OTRAS CONSIDERACIONES 11

INDICE DE FIGURAS

Figure 1: Esquema representativo de la cabina de pintado exterior 3
Figure 2: Obtención de diámetros, caudales y velocidades de ductos 5
Figure 3: Obtención de la presión dinámica 6
Figure 4: Pérdida de carga en codos 7
Figure 5: Tipo de chimenea y perdida de carga 8
Figure 6: Perdida de carga en los cambios de sección 8
Figure 7: Perdida de carga en los colectores de las cabinas 9
Figure 8: Curva característica del sistema 10

INDICE DE TABLAS

Table 1: Valores representativos del sistema de extracción 9

OBJETIVO

El objetivo de esta memoria de cálculo es brindarle al CONTRATISTA la información necesaria, procedimiento adoptado y consideraciones de diseño para realizar los cálculos necesarios para obtener las dimensiones de los ductos de aspiración, las especificaciones del ventilador y las dimensiones básicas de la chimenea y ubicación del punto de muestreo.

1 DATOS DE PARTIDA

En la **Figure 1**, se presenta un esquema representativo de la cabina de pintado a utilizar.

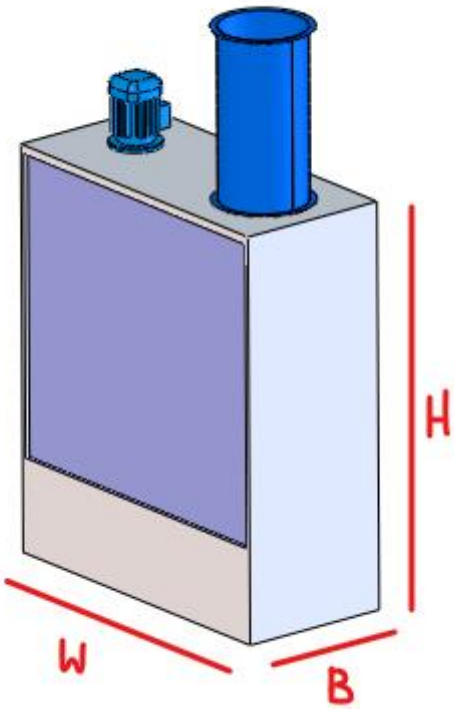


Figure 1: Esquema representativo de la cabina de pintado exterior

El volumen total del interior de la cabina se obtiene del producto de sus dimensiones, donde H=1,7m; W=1,5m; y B=1m.

$$Volumen = H.W.B = 2{,}55\ m^3$$

Por la cabina circula una cortina de agua que cumple la función de arrastrar consigo las partículas de pintura remanentes del proceso de pintado, y los restos de solvente quedan dispersos en el aire que queda atrapado en el interior. Ese aire con restos de solvente volátiles avanza por una serpentina interior que para luego ser extraído por la parte superior por un ducto de 650mm.

Existe una restricción correspondiente al diámetro máximo del ducto del ramal principal debido a su ubicación en la Nave, dado que su ubicación deseada es entre la unión de los perfiles del techo y columnas, y una canalización aérea. Dicha restricción es de 500mm.

2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Se considera que el sistema de extracción debe ser capaz de alimentar 2 cabinas de pintado exterior de iguales dimensiones y condiciones de trabajo, teniendo en cuenta una posible expansión de la producción de la Nave a futuro. De esta manera, se estima que el caudal circulante por el ducto principal (Qppal) es el doble del caudal circulante por los ductos de colección de las cabinas (Qe1 y Qe2).

Se considera una velocidad por los ductos de aproximadamente 15m/s. De obtener valores superiores al mencionado, aumentaría considerablemente el ruido y las vibraciones en el sistema.

3 MÉTODO ADOPTADO

Se utiliza el método de la pérdida de carga para calcular un equivalente de la presión necesaria a vencer por el sistema, que representa el gasto energético del ventilador, en base al *"Manual práctico de ventilación de SyP"* **[1]**. Para proceder a este cálculo, es necesario definir en primera instancia un valor para la velocidad de captación. Si bien no hay un valor correcto para la velocidad de captación, los resultados experimentales muestran que para una cabina de pintura suele tomarse entre 0,5m/s a 1m/s. Considerando que en nuestro caso solo queremos extraer los volátiles de solvente disueltos en el aire y que, particularmente estos solventes no traen grandes problemas a la salud, tomamos el límite inferior de dichas recomendaciones (Vc=0,5m/s). De esta manera definimos el caudal de captación de la salida de la cabina de pintura según sigue a continuación:

$$Q_e = 3600.H.W.V_c = 4590\ m^3/h$$

Por lo tanto, el caudal del ramal principal será:

$$Q_{ppal} = 2\ .Q_e = 9180 m^3/h$$

Estos valores calculados representan los caudales mínimos recomendados de circulación.

Con estos datos, se estima el caudal necesario de circulación por el ramal principal para que el fluido adopte una velocidad de 15m/s en una cañería de 500mm. Se llega a que un caudal de 10800m3/h resulta conveniente.

Luego se determina el diámetro de los ductos de entrada para un caudal que resulta ser la mitad del principal, como se explicó anteriormente, y el cual representaría una velocidad de captación de 0,6m/s aproximadamente. Los resultados arrojan que, para una velocidad estimada de 15,5m/s y un caudal de 5400m3/h se necesita un ducto de 350mm.

Para la chimenea, se mantiene el caudal circulante por el ramal principal, es decir, 10800m3/h, y se determina la velocidad necesaria para un ducto de 600mm. De esta manera se encuentra una velocidad aproximada de 10,6m/s.

En la **Figure 2**, se muestra el memograma guía de donde se obtienen los resultados planteados. Puede observarse que del mismo se extraen los valores de perdida de carga unitaria para cada ramal del circuito (p).

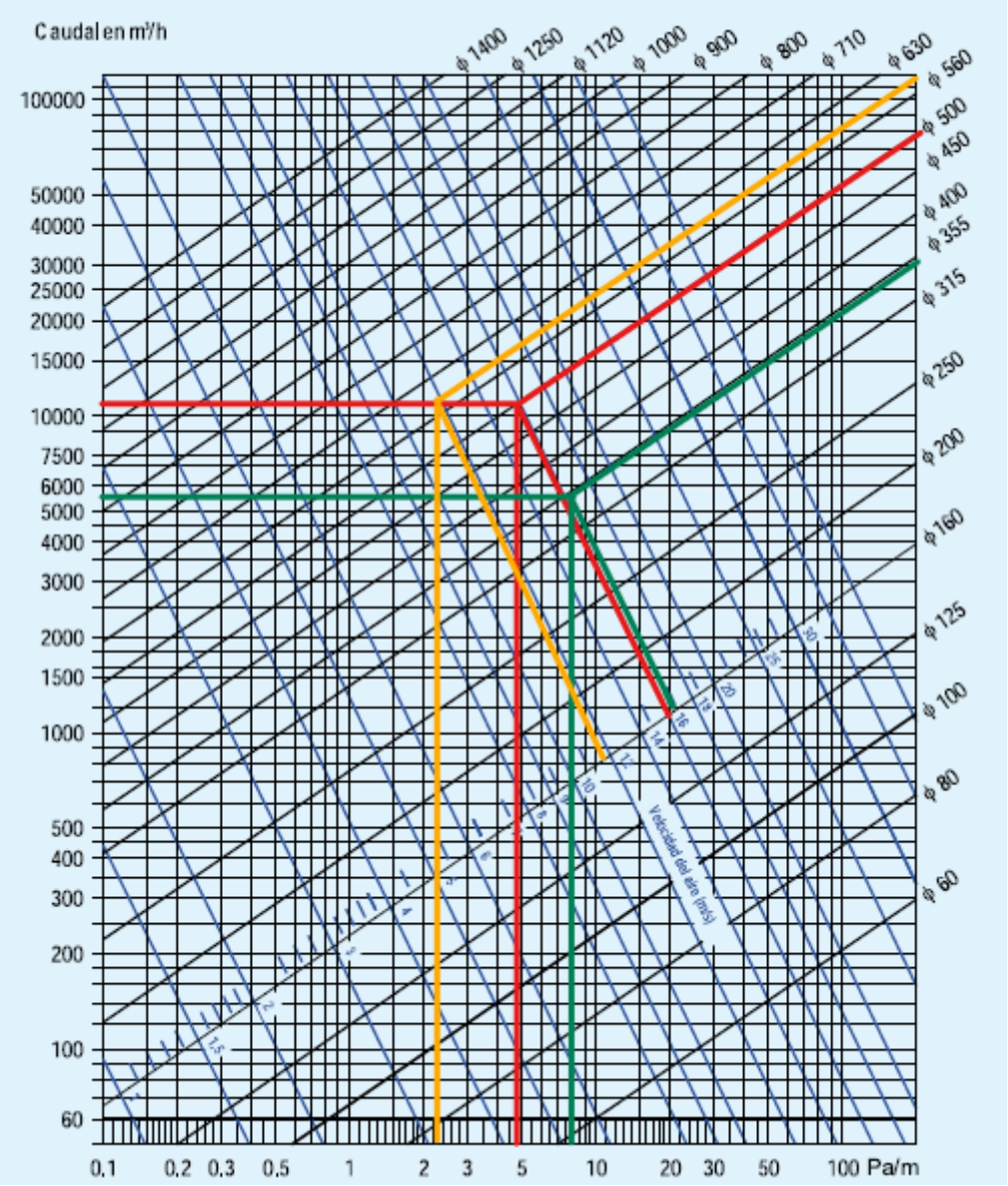


Figure 2: Obtención de diámetros, caudales y velocidades de ductos

A partir de los caudales y diametros de tuberia determinados, se obtiene la presion dinámica (Pd) en cada ducto, como se muestra en la **Figure 3**.

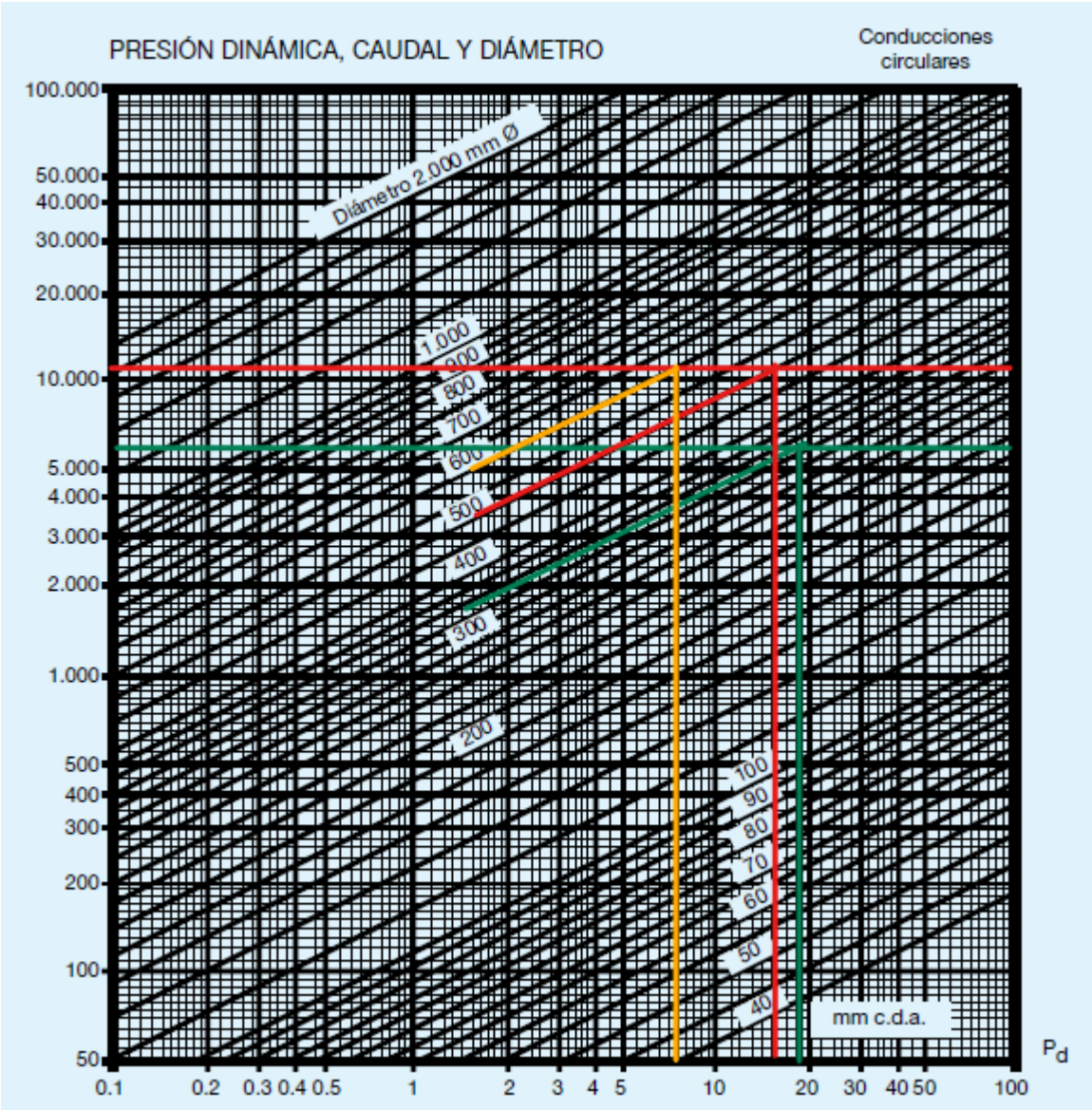


Figure 3: Obtención de la presión dinámica

El próximo paso es el cálculo de la perdida de carga total en cada ramal del circuito. Para ello es necesario determinar los largos de cada tramo y evaluar los posibles accidentes que producen perdidas de carga localizadas. Estos datos se obtienen de un analisis de los planos (vista planta, elevacion y frontal).

A continuación, se presentan los criterios de diseño adoptados para estimar los coeficientes de perdida de carga en los codos, chimenea, embocaduras de las cabinas y cambios de sección:

- <u>Codos a 90°:</u> Consideramos codos continuos. Los valores se obtienen como se muestra en la **Figure 4**

  Para los calculos adoptamos R/D=0.2 (n90=0.5)

  Se recomienda que el proveedor utilice R/D=0.4 (n90=0.35)

Nota: Para los calculos se consideran todos los codos como a 90° dado que es el procedimiento mas conservativo. El proveedor debe evaluar la posibilidad de conectar codos a distintos angulos para reducir las perdidas de carga en dichas ubicaciones.

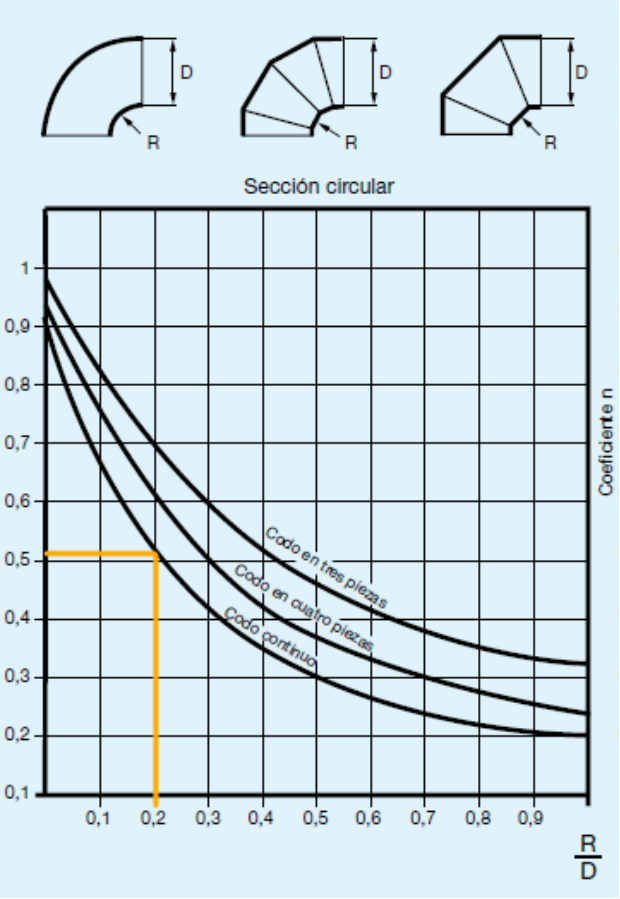


Figure 4: Pérdida de carga en codos

- <u>Chimenea:</u> Para los calculos utilizamos Chimenea tipo Sombrero, calculada para un H=0.6D (obteniendo nch=1.4). El proveedor deberá proveer una Chimenea tipo Americana (no tienen perdidas localizadas por ser descarga directa). En la **Figure 5** se pueden observar los 2 tipos.

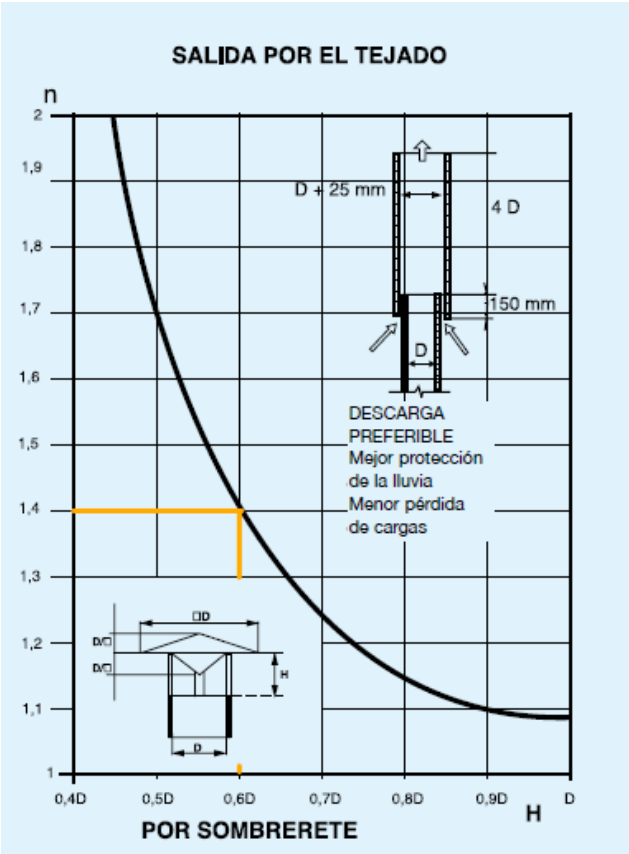


Figure 5: Tipo de chimenea y perdida de carga

- <u>Cambio de sección:</u> Se considera el caso limite de un angulo de 45° (nd=0.2) como se muestra en la **Figure 6**. Se recomenienda que el proveedor utilice un angulo de 30° o inferior.

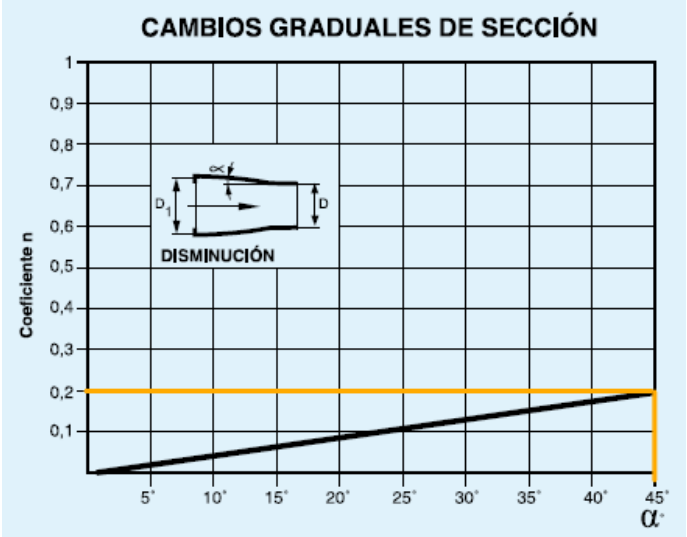


Figure 6: Perdida de carga en los cambios de sección

- Embocadura: Se considera el ducto de salida de la pintadora según se muestra en la **Figure 7** (ne=0.5)

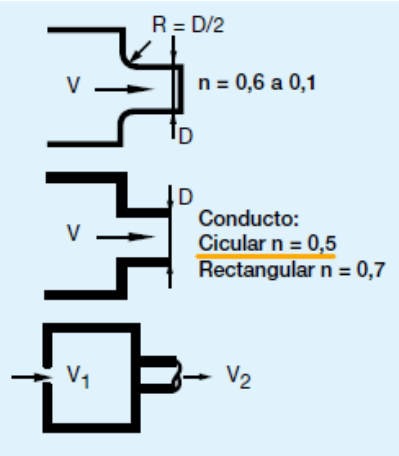


Figure 7: Perdida de carga en los colectores de las cabinas

Para obtener la perdida de carga total en cada ramal de la tubería se procede de la siguiente manera:

- Tubería ramal principal: $\Delta P_{ppal} = L_{ppal} \cdot p_{ppal} + P_{d_{ppal}} \cdot (4 \cdot n_{90})$
- Colección Pintadora 1: $\Delta P_{e1} = L_{e1} \cdot p_{e1} + P_{d_{e1}} \cdot (n_{90} + n_e + n_d)$
- Colección Pintadora 2: $\Delta P_{e2} = L_{e2} \cdot p_{e2} + P_{d_{e2}} \cdot (n_{90} + n_e + n_d)$
- Tubería ramal de salida: $\Delta P_s = L_s \cdot p_s + P_{d_s} \cdot (n_{90} + n_{ch})$

Finalmente, se calcula la perdida de carga de toda la tubería como la suma de las perdidas de carga anteriormente calculadas:

$$\Delta P = \Delta P_{ppal} + \Delta P_{e1} + \Delta P_{e2} + \Delta P_s$$

En la **Tabla 1** se muestra a modo de resumen los resultados obtenidos:

	Entrada 1	Entrada 2	Principal	Salida	
Q (m3/h)	5400	5400	10800	10800	
D (mm)	350	350	500	600	
A (m2)	0.096	0.096	0.196	0.283	
V (m/s)	15.6	15.6	15.3	10.6	
p (Pa/m)	7.5	7.5	5	2.4	
Pd (Pa)	190	190	170	80	
L (m)	5.3	9.3	55.6	13.01	
Δp (Pa)	267.75	297.75	618	185.624	1369.12
Δp (mmCa)	26.775	29.775	61.8	18.5624	136.912

Table 1: Valores representativos del sistema de extracción

A partir de los valores de perdida de carga totales obtenidos y el caudal circulante por el ramal principal, se construye la Curva característica del sistema mostrada en la **Figure 8**, a partir de la ecuación que se presenta a continuación:

$$\Delta P_2 = \Delta P_1 \cdot \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^2 = 1370Pa \cdot \left(\frac{Q_2}{10800m^3/h}\right)^2$$

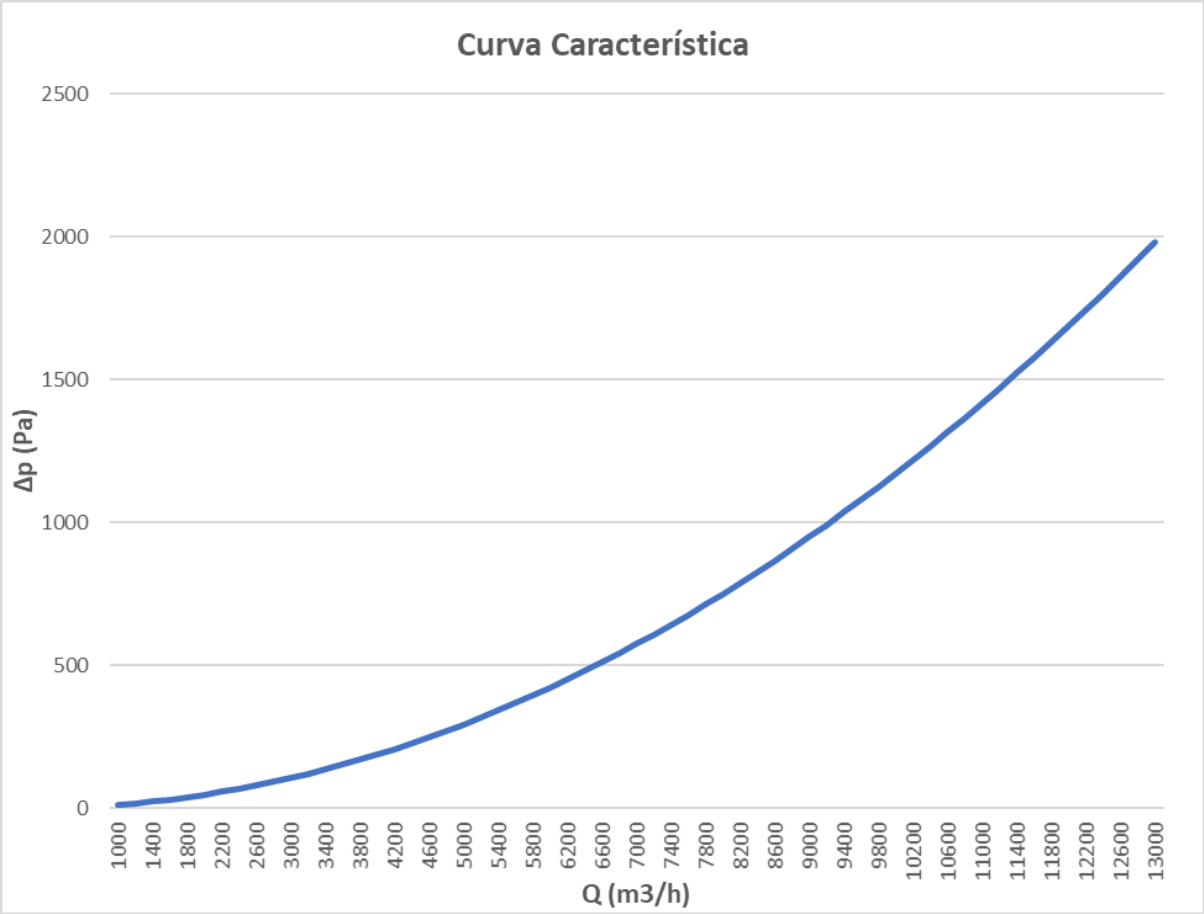


Figure 8: Curva característica del sistema

4 VENTILADOR

Los resultados obtenidos en la sección anterior muestran el comportamiento del sistema de ductos y las pérdidas de presión asociadas. Para contrarrestar estas pérdidas, es necesario elegir un ventilador capaz de proporcionar una presión mayor a las pérdidas de carga totales obtenidas. Para estar cubiertos ante eventuales perdidas de cargas no consideradas, se exige al proveedor que el ventilador sea capaz de soportar una perdida de carga de **200 mmCa** a un caudal circulante de **10800m3/h**, y una velocidad de tubería de **15m/s**.

Luego de indagar distintos catálogos de fabricantes y haber consultado con expertos, un ventilador capaz de cumplir con dichas condiciones se estima en una potencia de **10 a 12 kW**.

Se debe tener en cuenta que la alimentación disponible para alimentar el motor del ventilador es de **3 x 380V – 50Hz**.

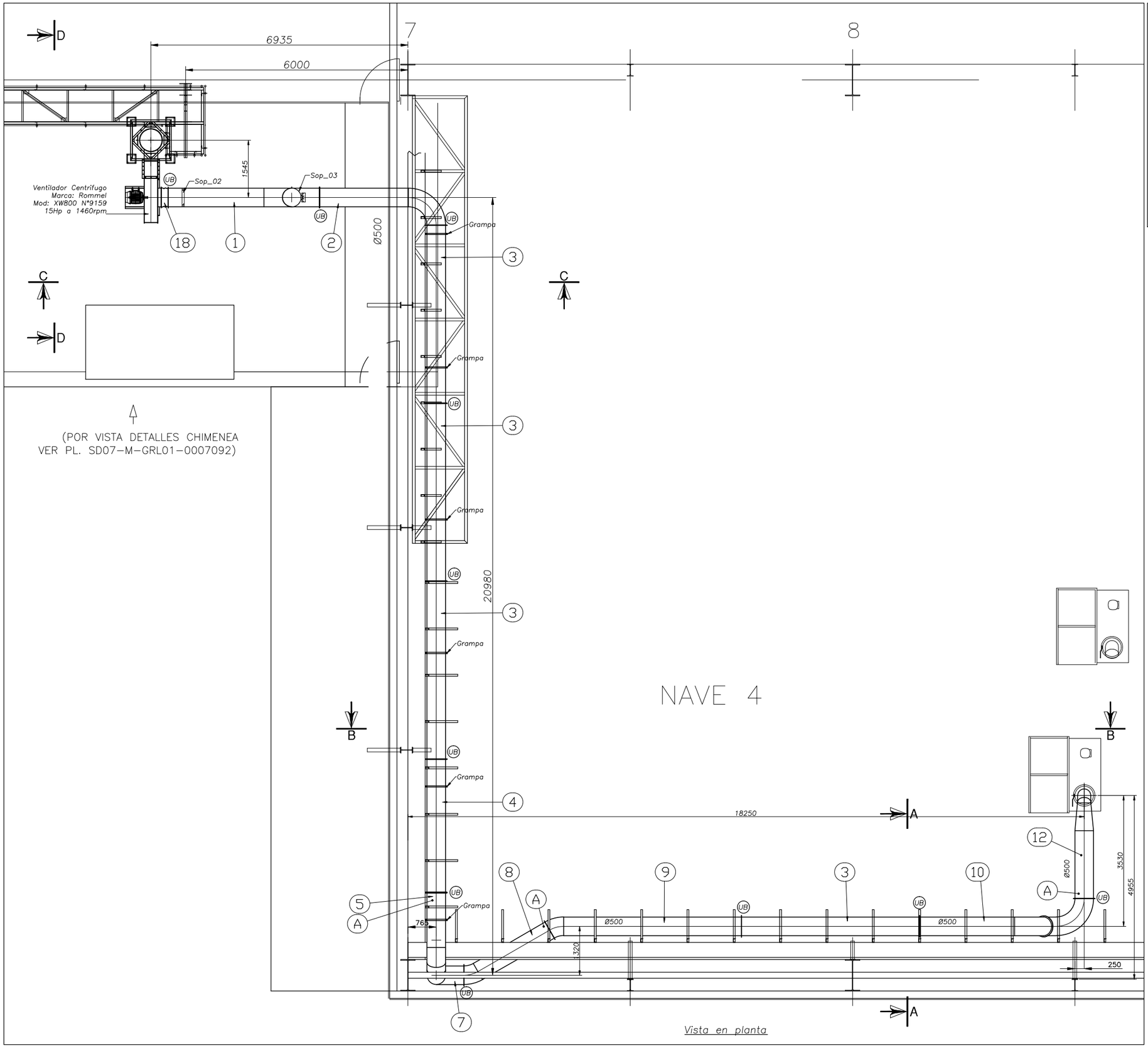
El ventilador debe contar con el soporte necesario del motor y los ductos de entrada y salida, para disminuir los esfuerzos actuantes sobre las paletas del mismo. Además, debe poseer fuelles tanto a la entrada como a la salida para disminuir vibraciones, y cualquier otro elemento de conexión necesario para asegurar la estanqueidad, su correcto funcionamiento y aumentar su vida útil.

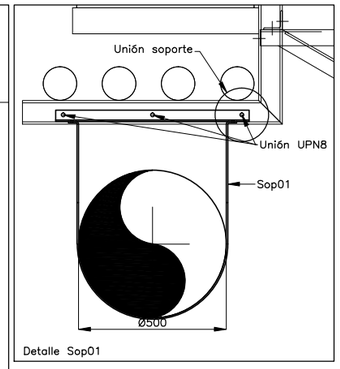
5 OTRAS CONSIDERACIONES

En cuanto a la estructura para acceder al punto de muestreo y las dimensiones de la chimenea, se exige al proveedor que siga las normas vigentes en la zona según la Resolución gubernamental adjunta y la ingeniería básica proporcionada por TENARIS en la Especificación Técnica.

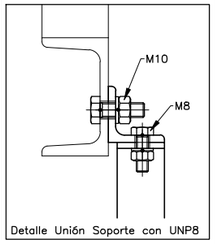
6 BIBLIOGRAFIA

[1] Soler & Palau. (2002). *Manual práctico de ventilación.*

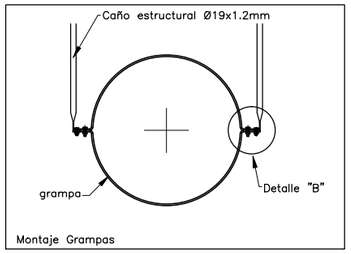




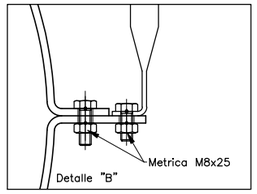
Detalle Sop01



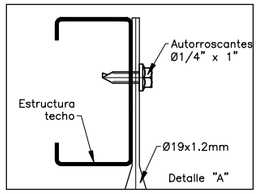
Detalle Unión Soporte con UNP8



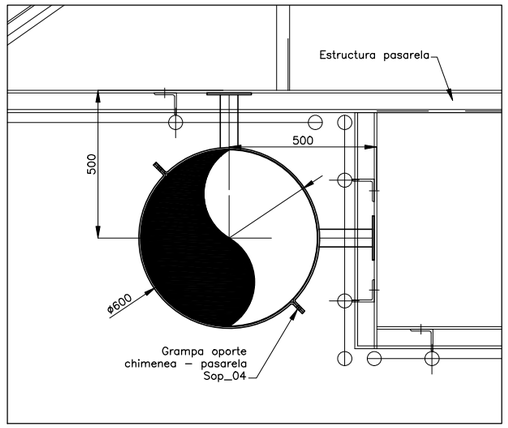
Montaje Grampas



Detalle "B"



Detalle "A"



A:Tramo con brida suelta para ajuste en obra
UB: Unión brida (Bulonería metrica M8x30)

Rommel

www.rommel.com.ar

Peralta Ramos 4886 Ing. Pablo Nogues (1613) Buenos Aires Argentina Tel.4463-0030 Linea rotat.

Cliente: **Tenaris Siderca**

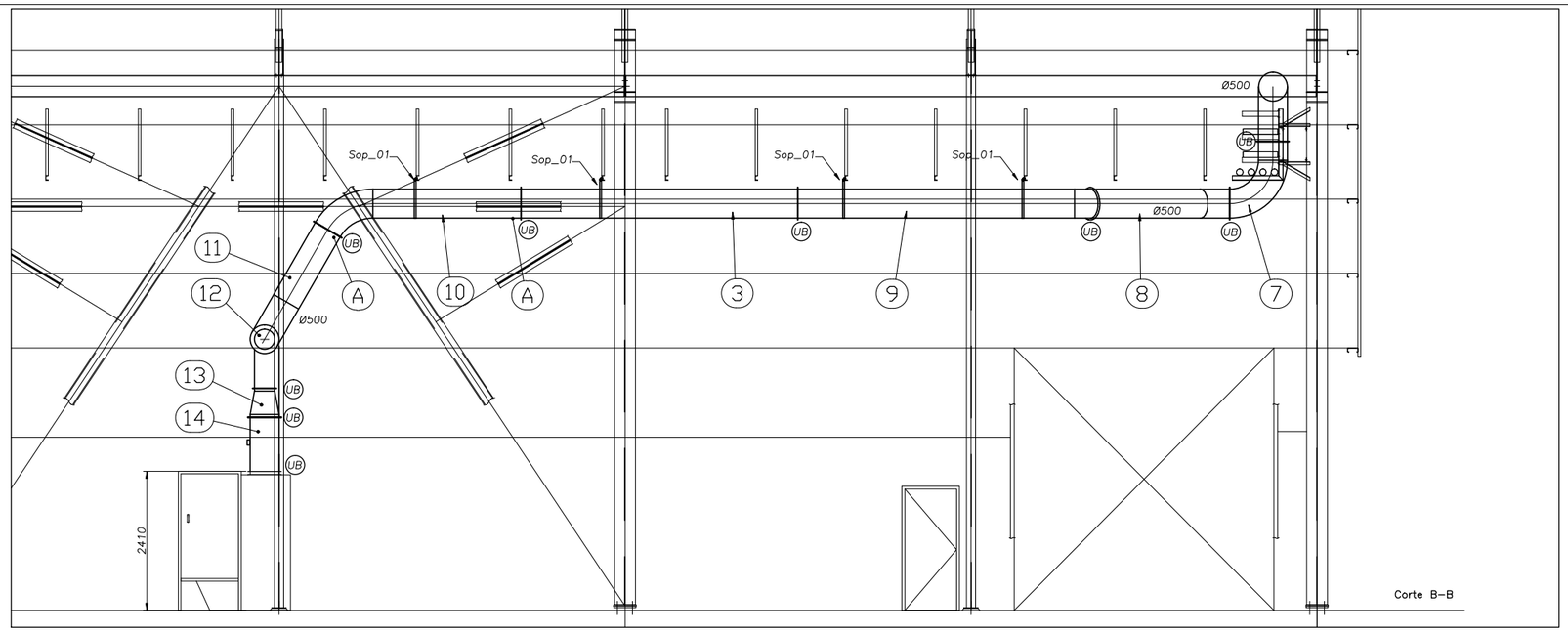
Denominación:		Fecha	Nombre	Revisión
Línea 3 de terminación	Dibujó	06/12/2021	C. Blanco	5
Vista en planta	Aprobó			
	Escala	1:50		

Proyecto N°: 29634 | Archivo : | Plano N°: 8280-A

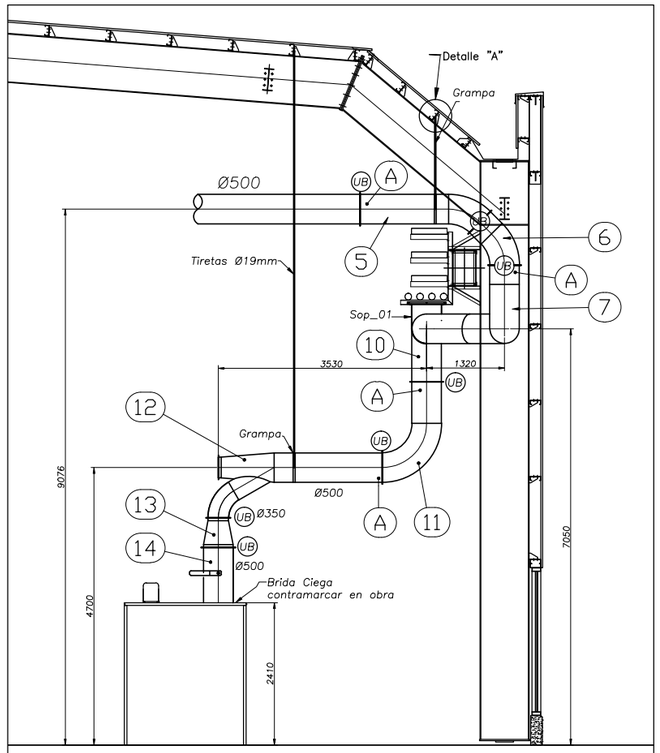
CAD ROMMEL

ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE ROMMEL TALLERES METALURGICOS, NO PUDIENDO SER REPRODUCIDO O ENTREGADO A TERCEROS. ASI MISMO NO SE PUEDEN UTILIZAR O DIVULGAR LAS INFORMACIONES QUE CONTIENE SIN LA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE ROMMEL TALLERES METALURGICOS

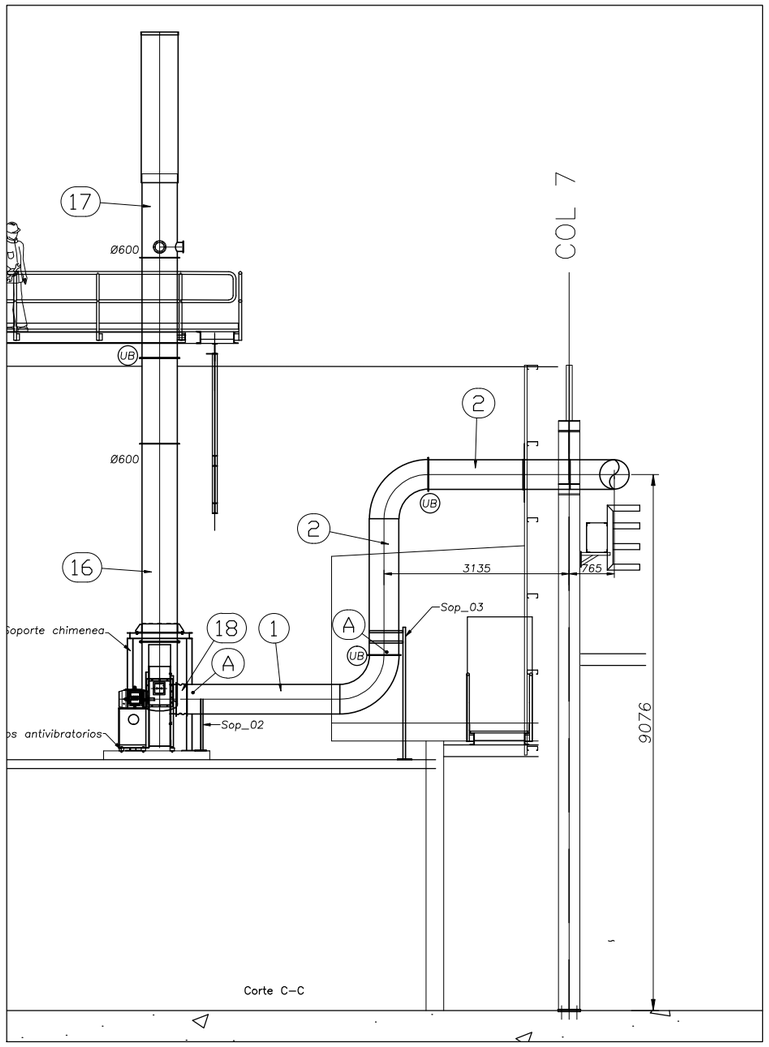
A1



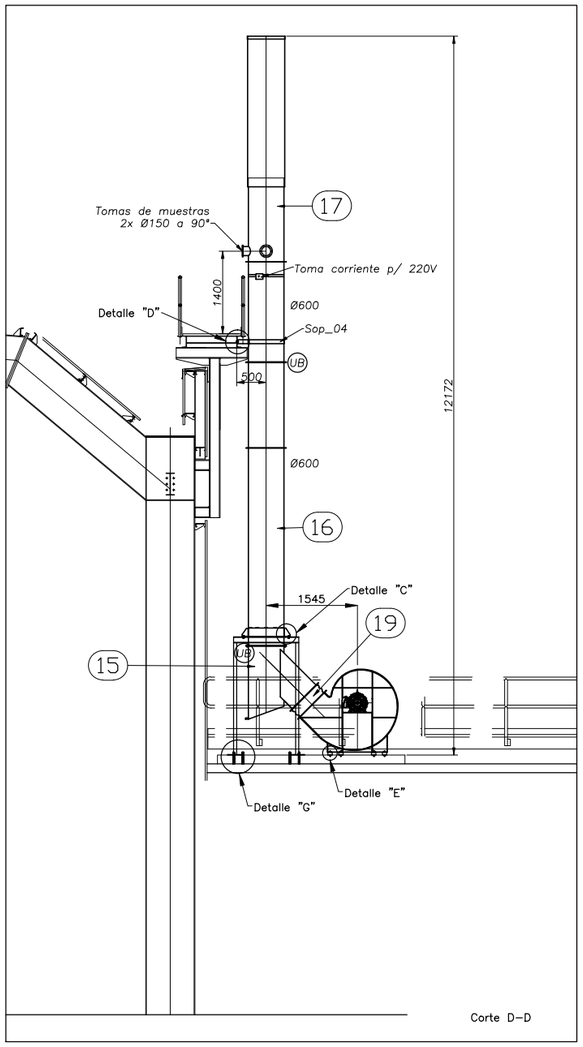
Corte B–B



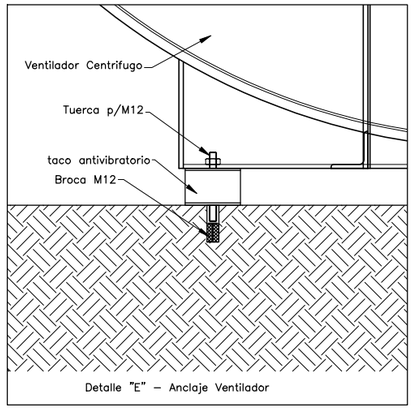
Corte A–A



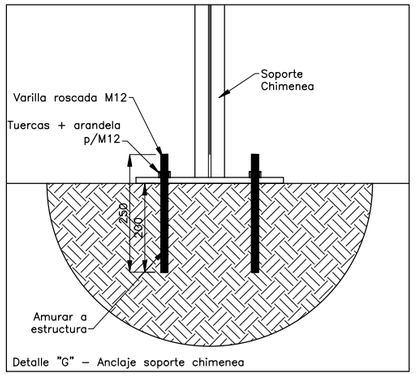
Corte C–C



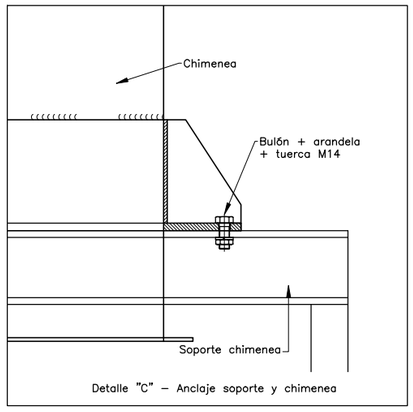
Corte D–D



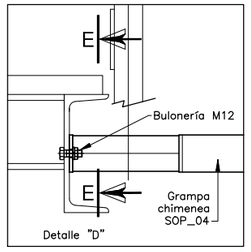
Detalle "E" – Anclaje Ventilador



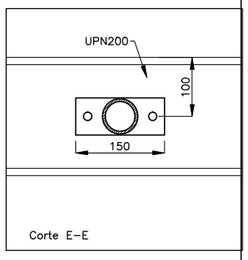
Detalle "G" – Anclaje soporte chimenea



Detalle "C" – Anclaje soporte y chimenea



Detalle "D"



Corte E–E

Rommel

www.rommel.com.ar

Peralta Ramos 4886 Ing. Pablo Nogues (1613) Buenos Aires Argentina Tel.4463–0030 Línea rotat.

Cliente: **Tenaris Siderca**

Denominación: *Línea 3 de terminación*
Cortes

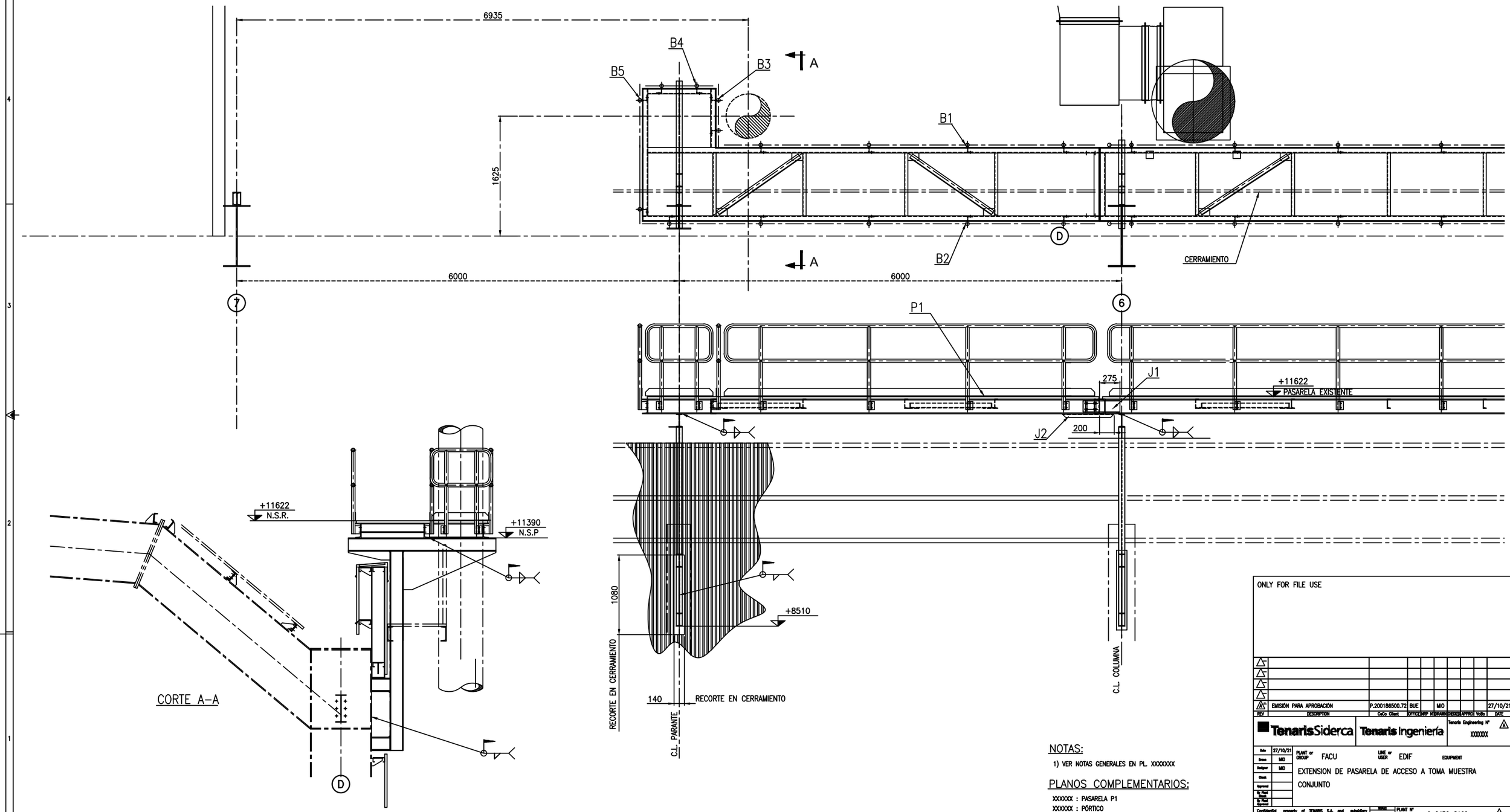
	Fecha	Nombre	Revisión
Dibujó	06/12/2021	C. Blanco	5
Aprobó			
Escala			

Proyecto N°: 29634 | Archivo : | Plano N°: 8280–B

ESTE PLANO ES PROPIEDAD DE ROMMEL TALLERES METALURGICOS, NO PUDIENDO SER REPRODUCIDO O ENTREGADO A TERCEROS. ASI MISMO NO SE PUEDEN UTILIZAR O DIVULGAR LAS INFORMACIONES QUE CONTIENE SIN LA AUTORIZACION EXPRESA POR ESCRITO DE ROMMEL TALLERES METALURGICOS

CAD ROMMEL

A1



NOTAS:

1) VER NOTAS GENERALES EN PL. XXXXXXX

PLANOS COMPLEMENTARIOS:

XXXXXX : PASARELA P1
XXXXXX : PÓRTICO

ONLY FOR FILE USE

REV	DESCRIPTION	CeCo Client	OFFICE/DWP N°	DRAWN	CHECKED	APPROV.	Volts	DATE
A	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	P.200186500.72	BUE		MIO			27/10/21

Tenaris Siderca | Tenaris Ingeniería | Tenaris Engineering N° XXXXXXX | A

Date	27/10/21	PLANT or GROUP	FACU
Drawn	MIO	LINE or USER	EDIF
Designer	MIO	EQUIPMENT	
Check			
Approved			
By Prod. Approved			
By Prod. Approved			

EXTENSION DE PASARELA DE ACCESO A TOMA MUESTRA

CONJUNTO

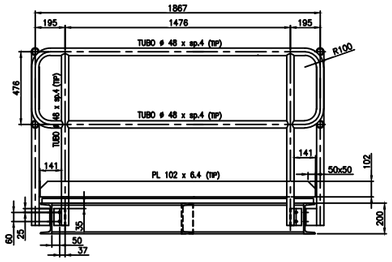
Confidential property of TENARIS S.A. and subsidiary companies. Copy, use or disclosure of this document or any data contained herein for any purpose to third parties without the express written consent of TENARIS S.A. and subsidiary companies is prohibited. Copyrighted 2009 as an unpublished work

SCALE 1:25 | PLANT N° 6-0456-8162 | SIZE A1+21

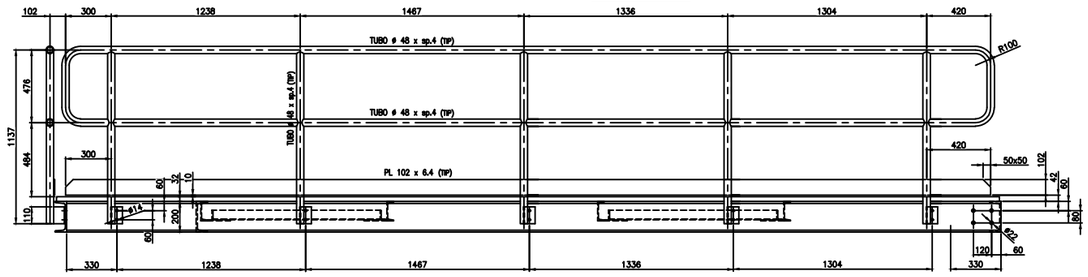
Replace to/for N° DWGS

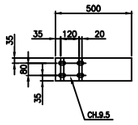
CORTE A–A

1 x BARANDA B5



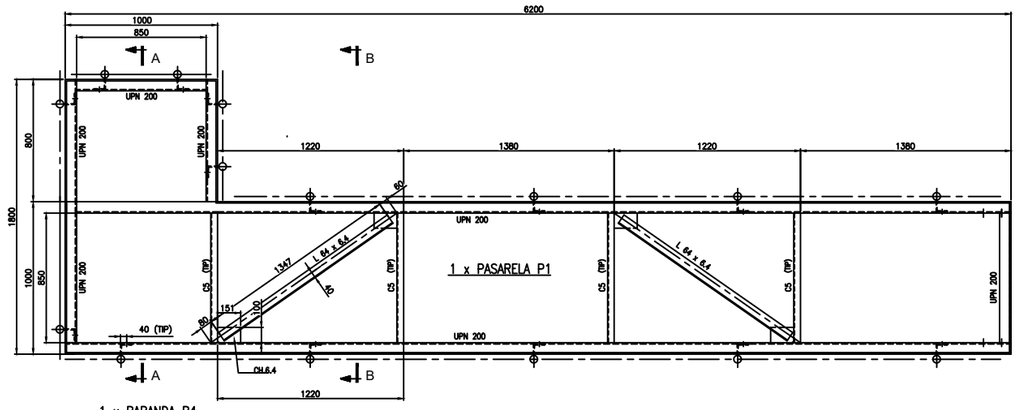
1 x BARANDA B2





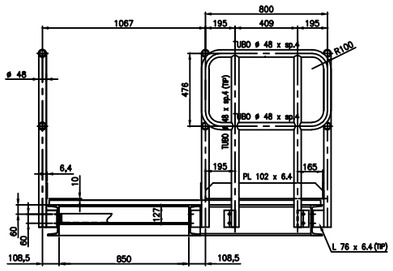
2 x JUNTA J1

PROVEER CON 8 BULONES ø3/4" x 44
ALTA RESISTENCIA ASTM A–325
COMPLETOS DE 2 ARANDELAS Y TUERCA.



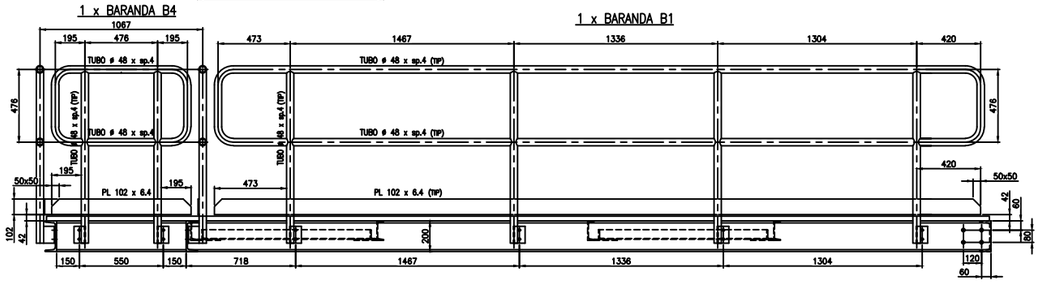
CORTE B–B

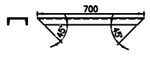
1 x BARANDA B3



1 x BARANDA B4

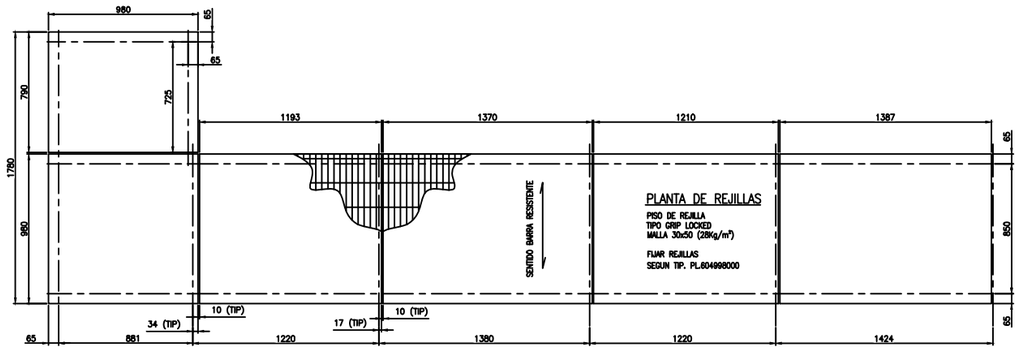
1 x BARANDA B1





2 x JUNTA J2

SOLDAR A LA ESTRUCTURA EXISTENTE COMO GUIAS
SEGUN SE INDICA EN EL PLANO DE CONJUNTO.
PERFIL ESTRUCTURAL C5



PLANTA DE REJILLAS

PISO DE REJILLA
TIPO GRIP LOCKED
MALLA 30x50 (28Kg/m²)

FIJAR REJILLAS
SEGUN TIP. PL604998000

POS	CANT	DESCRIPCION	SUPERF. m²	LONG.	PESO (kg) Kg/m	Kg/m²	TOTAL	OBSEV./MATERIAL
		MATERIAL NECESARIO PARA PLATAFORMAS , BARANDAS, ESCALERA Y PORTICOS						
	1	UPN 200		16	26,3		421	
	1	C5		4,1	9,5		39	
	1	IPN 180		5,2	22		114,4	
	1	PL 76 x 6,4		1,7	3,8		6,5	
	1	PL 64 x 6,4		2,7	3,2		8,7	
	1	TUBO ø 48/4		51	4,1		209	SCH. 40
	1	Ch. 6.4	1,9			50	95	
	1	Ch. 9,5	0,3			74,6	22,4	
	1	REJILLA TIPO GRIP LOCKED	6,8			28,0	190,4	TIPO 4040

PESO TOTAL = 1107 KG
VARIOS (APROX.) = 43 KG
PESO TOTAL GRAL. = 1150 KG

NOTAS:

1) CALIDAD DE MATERIALES: PERFILES: ACERO F–24 (IRAM–IAS U 500–503)
CHAPAS: ACERO F–24 (IRAM–IAS U 500–42)

2) SOLDADURAS SEGUN NORMA A.W.S. D1.1, ELECTRODOS SEGUN A.W.S. SERIE E70xx.

3) N.S.P. = NIVEL SUPERIOR PERFIL

4) N.S.R. = NIVEL SUPERIOR REJILLA DE PISO

5) ⟷ = SENTIDO APOYO DE REJILLAS (BARRAS RESISTENTES)

4) TODAS LAS BARANDAS SERAN PROVISTAS DE BULONES ø1/2" x 44
ALTA RESISTENCIA ASTM A–325 COMPLETOS ARANDELA Y TUERCA

PLANOS COMPLEMENTARIOS:

XXXXXX : CONJUNTO / MONTAJE
XXXXXX : PÓRTICO

REQUERIMIENTOS P/CONSTRUCCIONES SOLDADAS							
Variaciones para dimensiones sin tolerancias							
Espesores	Mas de	—	30	315	1000	2000	4000
	Hasta	30	315	1000	2000	4000	10000
		±1	±2	±3	±4	±6	±8
Longitud lado mas corto							
Perfiles	Mas de	——	315	1000			
	Hasta	315	1000	——			
		±1mm/m	±2mm/m	±3mm/m			
Simbologia de soldadura							
Filetes sin ocular cateto: 0,7 x esp. min.							
Eliminar tensiones antes de mecanizar							

ONLY FOR FILE USE

REV	DESCRIPTION	CoCo Client	OFFICE/UNIT	N°/DRAWING	CHECKED	APPROV.	Visto	DATE
A	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	P.200186500.72	BUE		MIO			27/10/21

Tenaris Siderca | Tenaris Ingeniería

Tenaris Engineering N° XXXXXXXXX

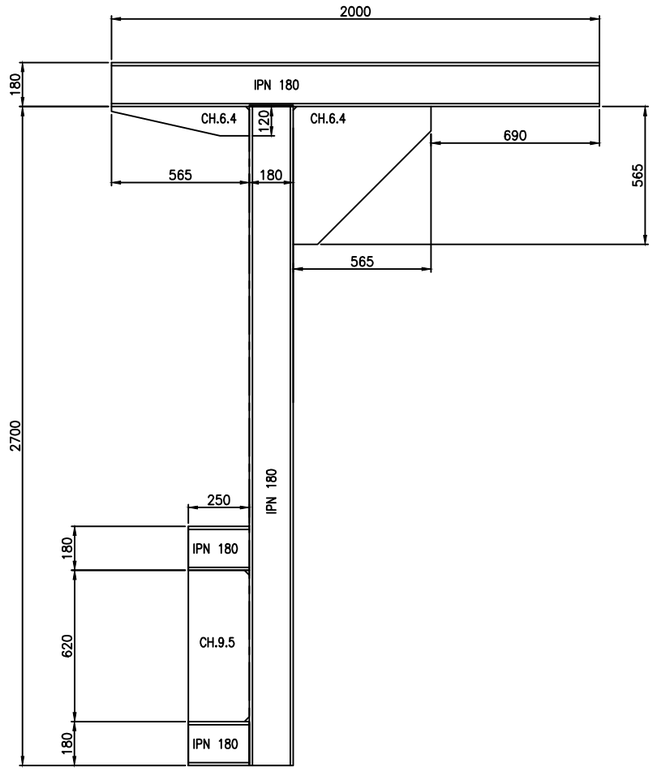
Date	27/10/21	PLANT or GROUP	FACU
Drawn	MIO	LINE or USER	EDIF
Designer	MIO	EQUIPMENT	
Check			
Approved			
By Field Check			
By Field Approved			

EXTENSION DE PASARELA DE ACCESO A TOMA MUESTRA

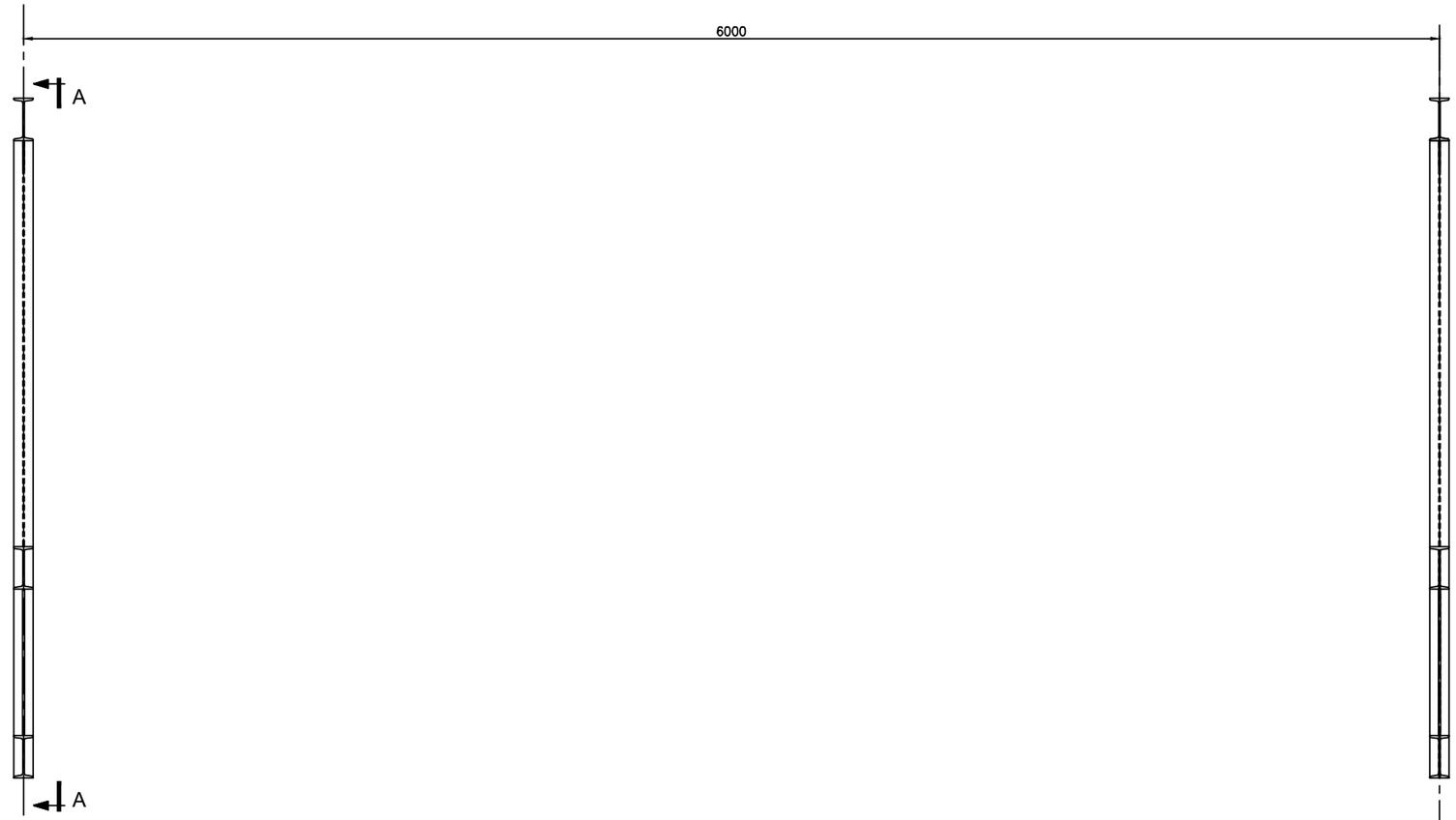
PASARELA P1

Confidential property of TENARIS S.A. and subsidiary companies. Copy, use or disclosure of this document or any data contained herein for any purpose to third parties without the express written consent of TENARIS S.A. and subsidiary companies is prohibited. Copyrighted 2009 as an unpublished work.

SCALE 1:25 | PLANT N° 6–0456–8163 | Replace to/for | N° DWGS | SIZE A1+21



CORTE A–A



NOTAS:

1) VER NOTAS GENERALES y MATERIALES EN PL. XXXXXXX

PLANOS COMPLEMENTARIOS:

XXXXXXXX : PASARELA P1
XXXXXXXX : CONJUNTO / MONTAJE

REQUERIMIENTOS P/CONSTRUCCIONES SOLDADAS								
Variaciones para dimensiones sin tolerancias								
Long.	Mas de	—	30	315	1000	2000	4000	8000
	Hasta	30	315	1000	2000	4000	8000	12000
		±1	±2	±3	±4	±6	±8	±10
Angulos	Longitud lado mas corto							
	Mas de	—		315		1000		
	Hasta	315		1000		—		
		±13mm/m		±9mm/m		±6mm/m		
Simbologia de soldadura:								
Filetes sin acotar cateto: 0,7 x esp. mín.								
Eliminar tensiones antes de mecanizar								

ONLY FOR FILE USE

REV	DESCRIPTION	CeCo Client	OFFICE	NRP N°	DRAWN	CHECKED	APPRO	VoBo	DATE
A	EMISIÓN PARA APROBACIÓN	P.200186500.72	BUE		MIO				27/10/21

TenarisSiderca | Tenaris Ingeniería

Tenaris Engineering N° XXXXXXX

Date	27/10/21
Drawn	MIO
Designer	MIO
Check	
Approved	
By Plant Check	
By Plant Approved	

PLANT or GROUP: FACU
LINE or USER: EDIF
EQUIPMENT

EXTENSION DE PASARELA DE ACCESO A TOMA MUESTRA
PÓRTICO

Confidential property of TENARIS S.A. and subsidiary companies. Copy, use or disclosure of this document or any data contained herein for any purpose to third parties without the express written consent of TENARIS S.A. and subsidiary companies is prohibited. Copyrighted 2009 as an unpublished work. ALL RIGHTS RESERVED

SCALE: 1:12.5
DIMENSION UNIT: MILIMETERS
UNLESS OTHERWISE NOTED

PLANT N°: 6-0456-8164
Replace to/for N° EXIROS
SIZE: A1

SIZE A1 SHeet1