



FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

**Trabajo de fin de grado.
Ingeniería química**

Jonathan Baudillo Sequeiros Vilanueva

Sergio Fernández Blanco

Júlia Guardia de la Rubia

Deyaneira Hidalgo Narvaez

Lluc Maymó Ballester

Mireia Tellez Alcover

UAB Universitat Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria





FORMIQ

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPÍTULO 2. EQUIPOS

Índice:

2.1. Introducción	4
2.2. Nomenclatura de los equipos	4
2.3. Descripción de equipos	5
2.3.1. Tanques de almacenamiento	5
2.3.2. Intercambiadores de calor	6
2.3.3. Reactor	7
2.3.4. Torre de absorción.....	7
2.3.5. Lavador de gases	8
2.3.6. Unidad de oxidación catalítica de gases residuales.....	8
2.3.7 Mezcladores	8
2.3.7.1 Mezcladores estáticos	8
2.3.7.1 Mezcladores dinámicos	9
2.3.8. Sopladores.....	9
2.3.9. Compresor.....	10
2.3.10. Calderas.....	10
2.3.11. Chiller	11
2.3.12. Torre de refrigeración.....	11
2.3.13. Ósmosis Inversa.....	12
2.3.14. Descalcificadora.....	12
2.4. Listado de equipos.....	13
2.4.1. Área 100	13
2.4.2. Área 200	13
2.4.3. Área 300	14
2.4.4. Área 400	14
2.4.5. Área 500	15
2.4.6. Área 600	15
2.4.6. Área 1400	16
2.5. Hojas de especificaciones.....	17
2.5.1. Área 100	17
2.5.2. Área 200	19
2.5.3 Área 300	27
2.5.4 Área 400	29
2.5.5. Área 500	42
2.5.6. Área 600	44



2.5.7 Área 1400 51

2.6. Bibliografía..... 60

2.1. Introducción

En este capítulo se presentan los equipos principales de la planta FORMIQ destinados a la producción de formaldehído en disolución acuosa al 37% a partir de metanol, así como los equipos de almacenamiento y servicios auxiliares.

Se incluyen las hojas de especificaciones de los equipos más relevantes, en las que se detallan los principales parámetros de diseño, las condiciones de operación y los materiales de construcción necesarios para su adecuada implantación industrial.

El contenido de este capítulo se encuentra directamente vinculado al *Capítulo 11. Manual de Cálculos*, del cual se obtienen los parámetros de diseño y las condiciones de operación empleados en la definición y especificación de los equipos que integran la planta.

2.2. Nomenclatura de los equipos

Con el objetivo de garantizar una identificación clara de todos los equipos que forman parte de la planta, se ha establecido un sistema de nomenclatura que permite reconocer de forma rápida el tipo de equipo, el área en la que se encuentra y su número secuencial dentro de dicha área.

La nomenclatura adoptada sigue la siguiente estructura general:

XX-YY

donde:

- XX corresponde a la abreviatura del tipo de equipo.
- A indica el área de la planta en la que se ubica el equipo.
- YY representa el número secuencial del equipo dentro del área correspondiente.

Este sistema facilita la lectura de diagramas de proceso, el seguimiento de los equipos en los cálculos de diseño, así como su localización dentro de la planta y en el manual de cálculos.

A modo de ejemplo, el equipo R-301 hace referencia al reactor situado en el área 300, siendo el primer reactor identificado dentro de dicha área.

En la Tabla 2.2.1 se presentan las abreviaturas empleadas para la identificación de los equipos de la planta de formaldehído desarrollada por FORMIQ.

Tabla 2.2.1. Nomenclatura equipos planta FORMIQ.

Equipo	Abreviatura
Tanque de almacenamiento	T
Tanque pulmón	TP
Bomba	B
Intercambiador de calor	E
Reactor	R
Torre de absorción	A

Soplador	BL
Condensador	C
Reboiler	RB
Vaporizador	V
Mezclador	M
Scrubber	S
Compresor	CP
Torre de refrigeración	TR
Chiller	CH
Caldera	CL
Tratamiento de agua	TA
Antorcha / sistema de venteo	AV
Osmosis Inversa	RO
Descalcificadora	D

2.3. Descripción de equipos

En este apartado se presentan los equipos que conforman la planta, describiendo su función dentro del proceso y los criterios generales empleados en su diseño y selección. Se detallan los aspectos más relevantes de cada equipo, incluyendo su construcción, materiales, aislamiento térmico y sistemas de seguridad.

Dado que la planta maneja compuestos inflamables como metanol y formaldehído, todos los equipos y sistemas auxiliares se diseñaron cumpliendo la normativa ATEX, asegurando la protección frente a atmósferas explosivas. De igual forma, los equipos de almacenamiento se ajustan a las normativas, garantizando seguridad operativa, contención de productos químicos y protección del personal y del entorno. La combinación de criterios de seguridad, fiabilidad y compatibilidad química asegura que los equipos seleccionados sean adecuados para una planta industrial de producción de formaldehído.

2.3.1. Tanques de almacenamiento

La planta presenta diversos tanques de almacenamiento, destinados principalmente a almacenar materias primas (metanol) así como el nitrógeno dedicado a la inertización de tanques, producto final y otros fluidos necesarios. Los distintos tanques se distribuyen en diferentes áreas de la planta asegurando la máxima agilidad operativa, separándose principalmente en las zonas A-100, A-500 y A-600.

A continuación, se detallan los tanques de almacenamiento de cada área:

- Área 100: Esta área está dedicada al almacenamiento de materias primas siendo el metanol el único almacenado. Este se almacena en tres tanques (T101-T103), los cuales aseguran una capacidad de operación en continuo de 3 días. Todos ellos trabajan a

presión y temperatura constantes y se emplea nitrógeno para la inertización. Cada uno de ellos tiene una capacidad de $155,44 \text{ m}^3$ de metanol con unas dimensiones de 180m^3 con 5,358m de diámetro y 10,7m de altura.

- Área 500: En el área de almacenamiento de productos se ubican los tres tanques de almacenamiento de formaldehído 37%. Se cuenta con almacenamiento equivalente a 3 días de producción sin extracción de la planta. Esto asegura la operación en continuo contra imprevistos en el transporte de productos. Los tres tanques tienen las mismas dimensiones, pudiendo contener $275,23\text{m}^3$ de formaldehído con unas dimensiones de $316,5 \text{ m}^3$ con 6,46m de diámetro y 12,91m de altura.
- Área 600: En esta área dedicada a los servicios de planta se sitúan los tanques de nitrógeno dedicados a la inertización. La planta FORMIQ cuenta con dos tanques de nitrógeno líquido de 2m^3 de capacidad máxima cada uno. Dichos tanques son suministrados por la empresa proveedora de nitrógeno líquido siendo esta Air Liquide.

Todos los tanques han sido construidos en acero inoxidable 316L por su resistencia a la corrosión, así como elevada resistencia.

Asimismo, todos los tanques cuentan con control de nivel, temperatura y presión junto con válvulas de seguridad, todos ellos explicados en el *Capítulo 3. Control e Instrumentación*.

2.3.2. Intercambiadores de calor

En FORMIQ se dispone de diferentes intercambiadores de calor con el objetivo de suplir las necesidades térmicas del proceso. Todos ellos se han diseñado a partir de la herramienta Aspen EDR como se especifica en el *Capítulo 11. Manual de Cálculos*.

Según los requerimientos térmicos y caudales a tratar se han optado por diversas configuraciones tanto de fluidos térmicos como de configuraciones de carcasa y tubos. Para enfriar se ha optado por agua de torre y agua de chiller y como fluido calefactor aceite térmico Dowtherm A.

- Área 200: E-201 y E-202

En la sección de acondicionamiento de materias primas se encuentran los intercambiadores E-201 y E-202. Intercambiadores de carcasa y tubos dedicados a la evaporación del metanol y calentar la mezcla (metanol-aire) hasta las condiciones de entrada a los reactores. El E-201 tiene la particularidad de reaprovechar el refrigerante caliente del R-301 como fluido térmico, devolviendo el fluido a menor temperatura al reactor y evaporando el metanol en el proceso.

- Área 400: E-401, E-402, E-403 y E-404

En el área de separación del producto se encuentran el E-401 y E-404 dedicados respectivamente a enfriar el corriente de salida del reactor y enfriar el producto previamente a su almacenamiento. También se encuentran el E-402 y E-403 encargados de retornar el flujo a las torres de absorción.

- Área 1400: E-1401 y E-1402

Finalmente se encuentran los intercambiadores de carcasa y tubos del área de tratamiento de gases. El E-1401 y E-1402 se encargan de calentar las corrientes de salida de los scrubbers

para la posterior etapa de oxidación catalítica de gases residuales. El primer equipo (E-1401) aprovecha el fluido refrigerante del R-302 para precalentar la entrada y así ahorrar energía. Seguidamente el E-1402 eleva la temperatura hasta 250°C mediante Dowtherm A proveniente de la caldera.

La selección de la configuración se realiza de la siguiente forma: los fluidos de proceso en fase gaseosa se dirigen por la carcasa para gestionar su elevado caudal volumétrico minimizando la pérdida de carga, mientras que los fluidos de proceso en fase líquida se destinan a los tubos para facilitar su limpieza mecánica. Los intercambiadores tipo BEM, de haz fijo, se emplean en servicios estándar para asegurar una construcción robusta y económica, mientras que los BJM se reservan para gestionar grandes volúmenes de gas con alta caída de presión, aprovechando su diseño de división de flujo para repartir el caudal. Esta se basa en las directrices de diseño de punto 19.7.1 “Fluid allocation: Shell or tubes” Towler & Sinnott. [1]

2.3.3. Reactor

En FORMIQ se ha optado por el uso de reactores catalíticos heterogéneos multitubulares dadas las necesidades productivas.

Se ha optado por dividir el volumen necesario del reactor en dos reactores independientes con la mitad de la capacidad (R-301 y R-302) y un tercer reactor idéntico como respaldo (R-303). Esta solución permite realizar mantenimientos, cambios de catalizador y otras funciones sin necesidad de detener por completo la producción.

Los reactores R-301, R-302 y R-303 son reactores multitubulares con 3000 tubos de AISI 316L, cada uno de los cuales mide 1,8 m de longitud y su diámetro es de 1,5 pulgadas. La carcasa es un recipiente cilíndrico de ASTM A516 Gr. 70 de 2,5 m de longitud y 3,52 m de diámetro externo.

Siguiendo la metodología de [2], se ha optado por la dilución del catalizador (HyKat SMF-50) con material inerte para moderar la cinética de la reacción y garantizar un control térmico más preciso y estable. Cada tubo del reactor alberga una carga total de 1750 g, estructurada en cuatro secciones de perfil axial diferenciado, un tramo inicial de 250 g de inerte puro (100%), seguido de 800 g con una concentración de catalizador del 15%, una tercera etapa de 500 g al 40% y, finalmente, un lecho de cierre de 200 g de material inerte.

2.3.4. Torre de absorción

En FORMIQ, para la recuperación del formaldehído, se ha optado por torres de absorción usando agua como absorbente. Estas torres son de tipo empacadas (Pall Rings 25 mm) con recirculación interna del líquido y tienen una altura de 9 m.

Se ha optado por usar dos torres de absorción idénticas (A-401 y A-402) en paralelo, para dividir el caudal de gas a tratar entre dos y, de este modo, evitar que el diámetro de dichas columnas sea excesivamente alto. Esta configuración permite seguir trabajando al 50% de capacidad aun cuando haya algún problema.

La implementación de una recirculación interna de la fase líquida permite mitigar la formación de zonas secas en el relleno sin comprometer la concentración final de formaldehído. Esta estrategia garantiza una densidad de flujo adecuada para la transferencia de materia sin incurrir en la dilución excesiva que derivaría de un incremento en el aporte de agua fresca.

Además, el líquido recirculado es enfriado 17°C para aumentar el grado de recuperación.

2.3.5. Lavador de gases

Debido a que las columnas de absorción principales (A-401 y A-402) no alcanzan una recuperación total del formaldehído, en la planta FORMIQ se ha optado por instalar lavadores de gases (scrubbers S-401 y S-402) como etapa de pulido final. Estos equipos, diseñados como columnas de relleno con recirculación interna, utilizan agua para realizar un lavado exhaustivo de la corriente gaseosa de salida, asegurando la recuperación completa del producto.

Estas unidades cuentan con una altura de 6 metros y operan bajo un régimen de recirculación que garantiza un mojado uniforme del empaque. Esta configuración es clave para mitigar la formación de zonas secas o canales preferenciales en el relleno sin comprometer la concentración final del producto. Finalmente, el líquido recolectado en las colas del scrubber se reintroduce en la columna de absorción principal, permitiendo reintegrar el formaldehído recuperado al proceso y maximizar el rendimiento global.

2.3.6. Unidad de oxidación catalítica de gases residuales

La salida por cabezas de los lavadores de gases (S-401 y S-402) superan los límites de emisión de monóxido de carbono y metanol. De este modo, en FORMIQ se ha decidido instalar una unidad de oxidación catalítica (R-1401) para garantizar la eliminación de dichos contaminantes.

La unidad R-1401 es un reactor de lecho fijo de forma cilíndrica, donde el gas fluye ascendentemente a través del lecho catalítico. Este equipo tiene una altura de 2 m y un diámetro interior de 2,5 m. Cabe destacar que este equipo tiene una capa de aislante de 100mm de lana mineral industrial, para recuperar y aprovechar completamente el calor generado en la oxidación de los contaminantes.

EN FORMIQ se ha optado por un catalizador monolito tipo honeycomb, para una menor pérdida de carga, formado por un soporte metálico recubierto principalmente de Pt/Pd, apto para la oxidación catalítica del monóxido de carbono, metanol y formaldehído como se defiende los trabajos de Yang et al. Y Wang et al. [3] [4].

2.3.7 Mezcladores

En la planta FORMIQ se emplean mezcladores para garantizar la homogeneización de distintas corrientes de proceso antes de etapas críticas de operación. Debido a las características de los fluidos y al régimen de trabajo continuo, se ha optado por el uso de mezcladores estáticos y dinámicos.

2.3.7.1 Mezcladores estáticos

La planta FORMIQ dispone de un mezclador estático instalado antes del intercambiador de calor E-202, cuya función es homogeneizar la corriente de aire caliente y el metanol en fase vapor antes de la etapa de intercambio térmico. El uso de un mezclador estático permite operar en régimen continuo sin necesidad de partes móviles, reduciendo así las necesidades de mantenimiento y aumentando la fiabilidad operativa del sistema.

Para este proceso se ha seleccionado un mezclador estático tipo Kenics Motionless System (KMS), compuesto por una serie de elementos helicoidales dispuestos alternativamente en el interior de una tubería cilíndrica. Estos elementos generan división, rotación y recombinación continua del flujo, provocando una elevada turbulencia y asegurando una mezcla rápida y homogénea de ambas corrientes gaseosas.

La elección de este tipo de mezclador se justifica por el elevado caudal de gas tratado y por la similitud de viscosidades entre ambos fluidos, lo que permite obtener una mezcla eficiente únicamente mediante la turbulencia generada por los elementos internos, sin necesidad de agitación mecánica externa. Además, los mezcladores KMS presentan una geometría compacta, una baja necesidad de mantenimiento y una elevada eficiencia de mezcla en aplicaciones gas-gas.

El mezclador ha sido dimensionado siguiendo las recomendaciones del capítulo 7 de Handbook of Industrial Mixing [5], obteniéndose un diámetro de 1,13m y una longitud aproximada de 5,64m, con cuatro elementos internos helicoidales. El material seleccionado es acero inoxidable AISI 316L, debido a su elevada resistencia a la corrosión y su buena compatibilidad con corrientes de metanol y aire caliente.

2.3.7.1 Mezcladores dinámicos

En FORMIQ se dispone de un mezclador dinámico a la salida de las torres de absorción. El objetivo de este equipo es terminar de ajustar la composición del producto final mediante la adición de metanol y agua desionizada a la corriente líquida procedente de la cola de los absorbedores. De este modo, se consigue obtener una disolución con una composición final del 37 % en peso de formaldehído y un 3 % de metanol, cumpliendo así con las especificaciones requeridas para el producto comercial.

La selección de un mezclador dinámico se debe a la necesidad de garantizar una mezcla homogénea entre los distintos componentes líquidos. Al tratarse de una etapa de ajuste final de composición, es importante asegurar una correcta dispersión del metanol y del agua desionizada en la corriente principal de formalina. El equipo M-401 está construido en AISI 316L, debido a la naturaleza química del producto tratado, y presenta una altura de 1,4 m, un diámetro de 1,1 m y un espesor de pared de 8 mm.

Para estas dimensiones y teniendo en cuenta el tipo de fluido contenido en el recipiente, se ha seleccionado un agitador tipo turbina de aspas inclinadas a 45°, con una potencia de 0,75 kW y un diámetro de 0,37 m. Este tipo de agitador resulta adecuado para líquidos de baja o moderada viscosidad, ya que favorece tanto la circulación axial como la mezcla global del fluido dentro del recipiente.

La colocación del agitador en el recipiente es un aspecto clave para garantizar una agitación correcta y evitar zonas muertas o mezclas incompletas. Por este motivo, se han utilizado las correlaciones recogidas en el Perry's Chemical Engineers' Handbook [6] para determinar la posición del agitador, estableciéndose una altura de instalación de 0,37 m respecto al fondo del recipiente. La misma referencia se ha empleado para definir el número y las dimensiones de los deflectores, obteniéndose como resultado la instalación de cuatro deflectores, cada uno con una anchura de 0,11 m.

2.3.8. Sopladores

Para la alimentación de aire al proceso (área 200) se ha seleccionado una configuración de dos soplantes centrífugos de una etapa modelo ZHA de Atlas Copco [7], los cuales trabajan en paralelo. Además, se incluye un tercer soplante de repuesto.

Dos unidades garantizan la capacidad nominal de 41212,46 m³/h y la tercera actúa como reserva para mantenimientos o respuesta ante averías. Cada unidad impulsa un caudal de 20606,23 m³/h, elevando la presión del aire desde 1,013 bar hasta 1,6 bar. Esta relación de compresión

moderada es óptima para soplantes centrífugas, las cuales, a partir del capítulo 10 de Perry's Chemical Engineers' Handbook, son los equipos idóneos para manejar elevados caudales volumétricos con una caída de presión controlada, optimizando el rendimiento antes de la etapa de compresión principal [6].

El modelo ZHA ha sido seleccionado por su diseño integral que incorpora los sistemas de filtrado de aire en la aspiración. Esta configuración es crítica para el diseño, ya que garantiza la eliminación de impurezas y partículas sólidas antes de que el aire sea introducido en la línea de proceso. Al suministrar aire limpio al compresor posterior, se mitiga significativamente el riesgo de erosión y ensuciamiento en sus componentes internos, tales como álabes y sellos, preservando la integridad mecánica del tren de compresión y asegurando una operación más estable y prolongada.

Además, se incluye el soplador BL-1401, modelo Alpha Blower de Aerzen [8], dada la necesidad de compensar la pérdida de carga generada en la corriente gaseosa de salida del E-1401, asegurando así el caudal y la presión requeridos para las etapas posteriores del proceso .

2.3.9. Compresor

Para la alimentación de aire al proceso, que demanda un caudal total de 22713,6 m³/h, se ha optado por instalar dos compresores centrífugos modelo DENAIR DAC250 [9] configurados en paralelo. Esta disposición permite dividir la carga, operando cada equipo al 50% de su capacidad nominal, permitiendo seguir trabajando aun en caso de avería.

La selección de la tecnología centrífuga se fundamenta en su capacidad para gestionar elevados caudales, presentando un funcionamiento continuo, menor nivel de vibraciones y reducidos requerimientos de mantenimiento frente a otras alternativas. Según el Perry's Chemical Engineers' Handbook [6], estos equipos son ideales para el sector industrial debido a su alta eficiencia y su capacidad para operar en rangos de presión moderados. Específicamente, para el salto de presión requerido de 1,6 a 2,5 bar (relación de compresión de 1,56), la Tabla 10-16 del Perry's Chemical Engineers' Handbook [6], confirma que el compresor centrífugo se sitúa en su rango de operación óptimo (1,2–1,9), garantizando una alta eficiencia y una operación estable.

2.3.10. Calderas

La selección de un sistema de calderas de aceite térmico utilizando Dowtherm A se fundamenta en las ventajas operativas y de seguridad que ofrecen frente a los sistemas de vapor convencionales o calentadores directos. Según el apartado 3.2.4 “Hot oil and heat transfer fluids” del Chemical Engineering Design de Towler & Sinnott [1], el Dowtherm A destaca por su elevada estabilidad térmica, permitiendo alcanzar temperaturas de proceso elevadas sin los riesgos asociados a las altas presiones de saturación del vapor de agua.

Este fluido opera en ciclos de vaporización-condensación similares a los sistemas de vapor, pero con una relación presión-temperatura mucho más favorable. Además, al mantener presiones de operación moderadas, se reducen las exigencias mecánicas sobre el material de los tubos, eliminando la necesidad de espesores de pared mayores y minimizando los riesgos de fugas o fallos por estrés térmico.

Las calderas (CL-601-CL-603) seleccionadas son los modelos EPC-ES 2500 y 1000 de Babcock Wanson [10]. Estas calderas aseguran una alta disponibilidad operativa. El uso de Dowtherm A, al ser una mezcla térmicamente estable, facilita un control preciso de la temperatura en los puntos de consumo, mitigando el riesgo de descomposición térmica o coking en los

intercambiadores de calor, tal como se especifica en el capítulo 3 “Utilities and energy-efficient design” de Towler & Sinnott [1].

2.3.11. Chiller

Para el sistema de refrigeración de FORMIQ se ha implementado un chiller de agua en circuito cerrado utilizando el modelo GEA Grasso FX P 650 [11], diseñado específicamente para suministrar agua a 10 °C al intercambiador E-404.

La elección de este equipo frente a una torre de refrigeración convencional se justifica por la necesidad de alcanzar una temperatura de enfriamiento cual es inalcanzable mediante torres de agua si la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente no es suficientemente baja. Según el apartado 3.2.6 “Refrigeration” del Chemical Engineering Design de Towler & Sinnott [1], para procesos que requieren temperaturas por debajo de los niveles económicos de una torre de refrigeración (inferiores a 40 °C), es imperativo recurrir a este tipo de sistemas de refrigeración para garantizar la estabilidad operativa.

La implementación de estos equipos CH-601 y CH-602, donde un equipo opera y el segundo permanece en reserva, responde a la necesidad de garantizar la continuidad de proceso exigida en el diseño de plantas industriales. Según los principios de diseño de utilidades del Towler & Sinnott (Cap. 3) [1], esta redundancia es una práctica fundamental para minimizar el impacto de paradas no programadas y facilitar el mantenimiento preventivo.

Adicionalmente, la reducción de la temperatura de suministro a 10 °C permite una disminución proporcional del caudal másico de agua de proceso necesario para el E-404. Esta reducción optimiza el consumo energético de las bombas y disminuye la demanda de productos químicos para el tratamiento de aguas, lo cual constituye una medida de ahorro en los costes operativos totales (OPEX).

2.3.12. Torre de refrigeración

Para los servicios de refrigeración que no requieren temperaturas próximas al ambiente, FORMIQ dispone de torres de refrigeración de agua.

Dada la naturaleza de este sistema, se contempla un caudal de reposición de agua necesario para compensar las pérdidas por evaporación, purga y otros arrastres, siendo el porcentaje típico de reposición del 2% por cada 10 °C de salto térmico [12].

La elección de estas torres frente a otros sistemas de refrigeración se fundamenta en los criterios de diseño expuestos por Towler & Sinnott (Cap. 3, Sección 3.2.6) [1], donde se establece que, para rangos de temperatura entre 40 °C y 120 °C, el agua de refrigeración es el servicio auxiliar más económico y eficiente. El diseño de este sistema permite alcanzar una temperatura de salida mínima que depende del bulbo húmedo del aire ambiente, asegurando una operación efectiva bajo condiciones normales de diseño.

Para garantizar la fiabilidad del suministro, se cuenta con dos torres de refrigeración que abastecen de forma independiente a los intercambiadores E-401 (primera torre) y E-402/E-403 (segunda torre), además de una tercera torre de respaldo capaz de sustituir a cualquiera de las anteriores. El modelo seleccionado es el EWB-1730 del proveedor EWR [13].

2.3.13. Ósmosis Inversa

Para el sistema de tratamiento de agua del proceso en la planta FORMIQ, se ha implementado una unidad de ósmosis inversa (RO-601) modelo OI5280 de IDEAGUA [14] con una capacidad de diseño de 6743,47 L/h.

La integración de este equipo responde a la necesidad de garantizar la calidad del producto final y la integridad de los activos industriales, ya que el agua de red presenta una carga de sales disueltas y contaminantes que resultan incompatibles con los requerimientos técnicos del proceso. La ósmosis inversa se ha seleccionado como la tecnología de referencia debido a su alta eficiencia en la eliminación de sólidos disueltos totales, proporcionando agua de alta pureza que minimiza la formación de incrustaciones en los equipos de intercambio térmico.

La justificación de este equipo se alinea justifica con los principios de diseño de utilidades descritos por Towler & Sinnott [1]. Al eliminar la carga iónica, la RO-601 permite que FORMIQ mantenga sus estándares de producción sin comprometer la vida útil de los equipos asegurando la eficiencia térmica de los intercambiadores E-402, E-403 y E-404.

La configuración técnica de la RO-601 no solo asegura el cumplimiento de las especificaciones de calidad del agua de proceso, sino que también facilita un control automatizado que minimiza las intervenciones manuales y las paradas no programadas por mantenimiento.

2.3.14. Descalcificadora

Para la reposición de las torres de refrigeración de FORMIQ se ha integrado un equipo descalcificador industrial de alta capacidad, suministrado por Babcock Wanson [15], diseñado para un caudal de 7759,32 L/h.

Este sistema es indispensable para el tratamiento del agua de red, ya que su función principal es eliminar la dureza (iones de calcio y magnesio) que provoca incrustaciones en los intercambiadores de calor y en las propias torres. Al prevenir estas incrustaciones, se mantiene la eficiencia en la transferencia térmica y se reduce significativamente la necesidad de mantenimientos y limpiezas.

La elección de esta tecnología, frente a soluciones de des ionización profunda, se justifica por ser la alternativa técnica más económica y eficiente para servicios de agua que no requieren una pureza extrema, pero que sí exigen protección contra la dureza. Según los principios de diseño de utilidades expuestos por Towler & Sinnott [1], el tratamiento adecuado mediante descalcificación es fundamental para asegurar la continuidad operativa y prolongar la vida útil de los equipos auxiliares.

2.4. Listado de equipos

2.4.1. Área 100

Tabla 2.4.1. Listado equipos del área 100.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área planta	100		Fecha	01/05/2026
				Revisión	25/05/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
T-101	Tanque de almacenamiento de metanol	AISI 316L	101.889,53 €	Volumen (m3)	180
T-102	Tanque de almacenamiento de metanol	AISI 316L	101.889,53 €	Volumen (m3)	180
T-103	Tanque de almacenamiento de metanol	AISI 316L	101.889,53 €	Volumen (m3)	180

2.4.2. Área 200

Tabla 2.4.2. Listado equipos del área 200.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	200		Fecha	01/05/2026
				Revisión	10/06/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
E-201	Evaporador metanol	AISI 316L	50.938,30 €	Área de intercambio (m2)	50
E-202	Intercambiador Metanol-Aire	AISI 316L	57.881,47 €	Área de intercambio (m2)	81,1
M-201	Mezclador de aire y metanol	AISI 316L	95.861,12 €	Longitud (mm)	5640
				Diámetro (mm)	1130
CP-201	Compresor aire	AISI 316L	1.915.697,42 €	Potencia (kW)	389,2
CP-202	Compresor aire	AISI 316L	1.915.697,42 €	Potencia (kW)	389,2
BL-201	Soplador de aire	AISI 316L	248.683,62 €	Caudal (m3/h)	20502,3
BL-202	Soplador de aire	AISI 316L	248.683,62 €	Caudal (m3/h)	20502,3
BL-203	Soplador de aire	AISI 316L	248.683,62 €	Caudal (m3/h)	20502,3

2.4.3. Área 300

Tabla 2.4.3. Listado equipos del área 300.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	300		Fecha	01/05/2026
				Revisión	10/05/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
R-301	Reactor tubular de formaldehído	AISI 316L	266.129,92 €	Área (m2)	740,34
R-302	Reactor tubular de formaldehído	AISI 316L	266.129,92 €	Área (m2)	740,34
R-303	Reactor tubular de formaldehído	AISI 316L	266.129,92 €	Área (m2)	740,34

2.4.4. Área 400

Tabla 2.4.4. Listado equipos del área 400.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	400		Fecha	01/05/2026
				Revisión	10/06/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
E-401	Intercambiador salida reactores	AISI 316L	56.308,52 €	Área de Intercambio (m2)	74,3
E-402	Intercambiador formaldehído 37%	AISI 316L	51.065,54 €	Área de Intercambio (m2)	50,6
E-403	Intercambiador formaldehído 37%	AISI 316L	51.065,54 €	Área de Intercambio (m2)	50,6
E-404	Intercambiador salida reactores	AISI 316L	43.801,19 €	Área de Intercambio (m2)	12,6
A-401	Torre de absorción	AISI 316L	207.885,04 €	Masa (kg)	5545
A-402	Torre de absorción	AISI 316L	207.885,04 €	Masa (kg)	5545
S-401	Lavador de gases (scrubber)	AISI 316L	134.308,08 €	Masa (kg)	3009
S-402	Lavador de gases (scrubber)	AISI 316L	134.308,08 €	Masa (kg)	3009
M-401	Mezclador	AISI 316L	41.841,89 €	Volumen (m3)	8,05

2.4.5. Área 500

Tabla 2.4.5. Listado equipos del área 500.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	500		Fecha	01/05/2026
				Revisión	10/06/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
T-501	Tanque de almacenamiento de formaldehído 37%	AISI 316L	103.122,45	Volumen (m3)	316,5
T-502	Tanque de almacenamiento de formaldehído 37%	AISI 316L	103.122,45	Volumen (m3)	316,5
T-503	Tanque de almacenamiento de formaldehído 37%	AISI 316L	103.122,45	Volumen (m3)	316,5

2.4.6. Área 600

Tabla 2.4.6. Listado equipos del área 600.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	600		Fecha	04/05/2026
				Revisión	09/06/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
T-601	Tanque de almacenamiento nitrógeno líquido	AISI 316L	% del inmovilizado	Volumen (m3)	2
T-602	Tanque de almacenamiento nitrógeno líquido	AISI 316L	% del inmovilizado	Volumen (m3)	2
CL-601	Caldera de aceite térmico	AISI 316L	1.058.012,37 €	Potencia (kW)	2500
CL-602	Caldera de aceite térmico	AISI 316L	1.058.012,37 €	Potencia (kW)	1000
CL-603	Caldera de aceite térmico	AISI 316L	1.058.012,37 €	Potencia (kW)	2500
CH-601	Chiller de agua	AISI 316L	2.632.705,63 €	Potencia (kW)	646
CH-602	Chiller de agua	AISI 316L	2.632.705,63 €	Potencia (kW)	646
TR-601	Torre de refrigeración de agua	AISI 316L	326.174,90 €	Potencia (kW)	2766
TR-602	Torre de refrigeración de agua	AISI 316L	326.174,90 €	Potencia (kW)	2766
TR-603	Torre de refrigeración de agua	AISI 316L	326.174,90 €	Potencia (kW)	2766
RO-601	Estación de ósmosis inversa	AISI 316L	% del inmovilizado	Potencia (kW)	12,5
D-601	Estación descalcificadora de agua	AISI 316L	% del inmovilizado	Caudal (L/h)	7759,52

2.4.6. Área 1400

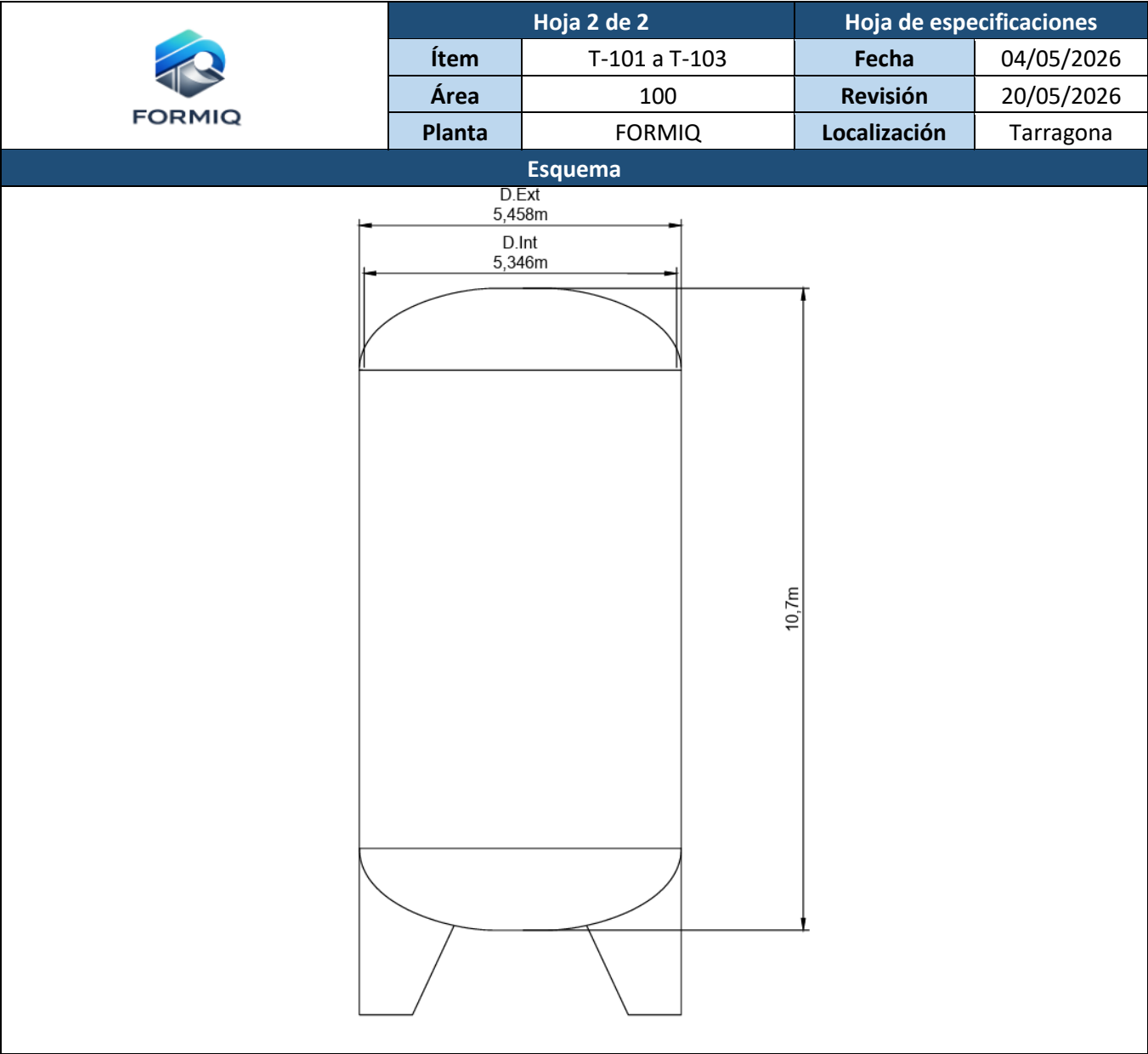
Tabla 2.4.7. Listado equipos del área 1400.

	Hoja 1 de 1			Listado de equipos	
	Área plata	1400		Fecha	13/05/2026
				Revisión	10/06/2026
Ítem	Equipo	Material	Precio (€)	Parámetro de diseño	
E-1401	Intercambiador para gases de escape	AISI 316L	173.634,20 €	Área de intercambio (m2)	475
E-1402	Intercambiador para gases de escape	AISI 316L	59.433,64 €	Área de intercambio (m2)	87,7
R-1401	Reactor tubular de oxidación catalítica	AISI 316L	39.580,85 €	Masa (kg)	1264
BL-1401	Soplador de gases	AISI 316L	408.986,66 €	Caudal (m3/h)	38700

2.5. Hojas de especificaciones

2.5.1. Área 100

	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	T-101 a T-103	Fecha	04/05/2026
	Área	100	Revisión	20/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Tanque de almacenamiento			
Función del equipo	Almacenamiento de metanol			
Componentes principales	Metanol			
Fase	Líquido			
Coste (€)	101.889.53			
Datos de operación				
Tiempo de residencia (d)	3			
Temperatura (°C)	25			
Presión (kPa)	101325			
Volumen (m3)	155,44			
Material				
Tipo	AISI 316L			
Densidad (kg/m3)	8000			
Factor soldadura	1			
Datos de diseño				
Temperatura diseño (°C)	25 +/- 15			
Presión de diseño (kPa)	116523,75			
Norma/Código	UNE-EN 14015			
Capacidad total (m3)	180			
Diámetro externo (m)	5,358			
Diámetro interno (m)	5,346			
Altura (m)	10,7			
Grosor (mm)	6			
Peso tanque vacío (kg)	23096			
Peso tanque en operación (kg)	146201,31			

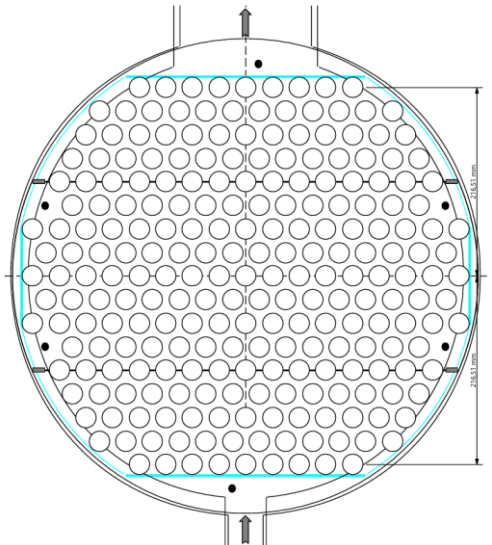


2.5.2. Área 200

 FORMIQ		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-201	Fecha	03/05/2026
		Área	200	Revisión	27/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de metanol			
Función del equipo		Calentar el corriente de metanol de 25 a 200 °C			
Componente principal	Carcasa	Dowetherm A			
	Tubos	Metanol (98%)			
Número de carcasas		1			
Área (m2)		50	Dimensiones (mm)		
Coste (€)		50.938,3 €	Tipo		BEM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		5150		423000	
Líquido (kg/h)		5150	0	423000	423000
Vapor (kg/h)		0	5150	0	0
Temperatura (°C)		25	200	242,88	230
Presión (kPa)		250	239	200	191
Densidad (kg/m3)		786,46	1,94	869,58	878,69
Viscosidad (cP)		0,5455	0,01	0,2935	0,313
Calor específico (kJ/(kg·K))		3,605	1,795	1,899	1,864
Velocidad Media/Máx (m/s)		6,29 / 18,46		1,53 /1,54	
Calor latente (kJ/kg)		1046	1049,3	/	/
Calor intercambiado (kW)		2102,9	MTD corregido (°C)		139,36
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	467,7			
	Sucio	389,4			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		235		280	
Presión de diseño (kPa)		300		300	
Nº de pasos		1		1	
Peso del equipo vacío (kg)		1235,5	Peso con agua (kg)		2043,6
Nº de tubos	237	OD (mm)	25	Pitch (mm)	31,25
Tipo	Plano	Longitud (mm)		2750	
ID Carcasa (mm)	550		OD Carcasa (mm)		560
Nº Baffles	18		Espacio C-C (mm)		160
Tipo Baffle	Double segmental		Posición		Horizontal
Código de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service

Hoja 2 de 3		Hoja de especificaciones	
Ítem	E-201	Fecha	03/05/2026
Área	200	Revisión	27/05/2026
Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona

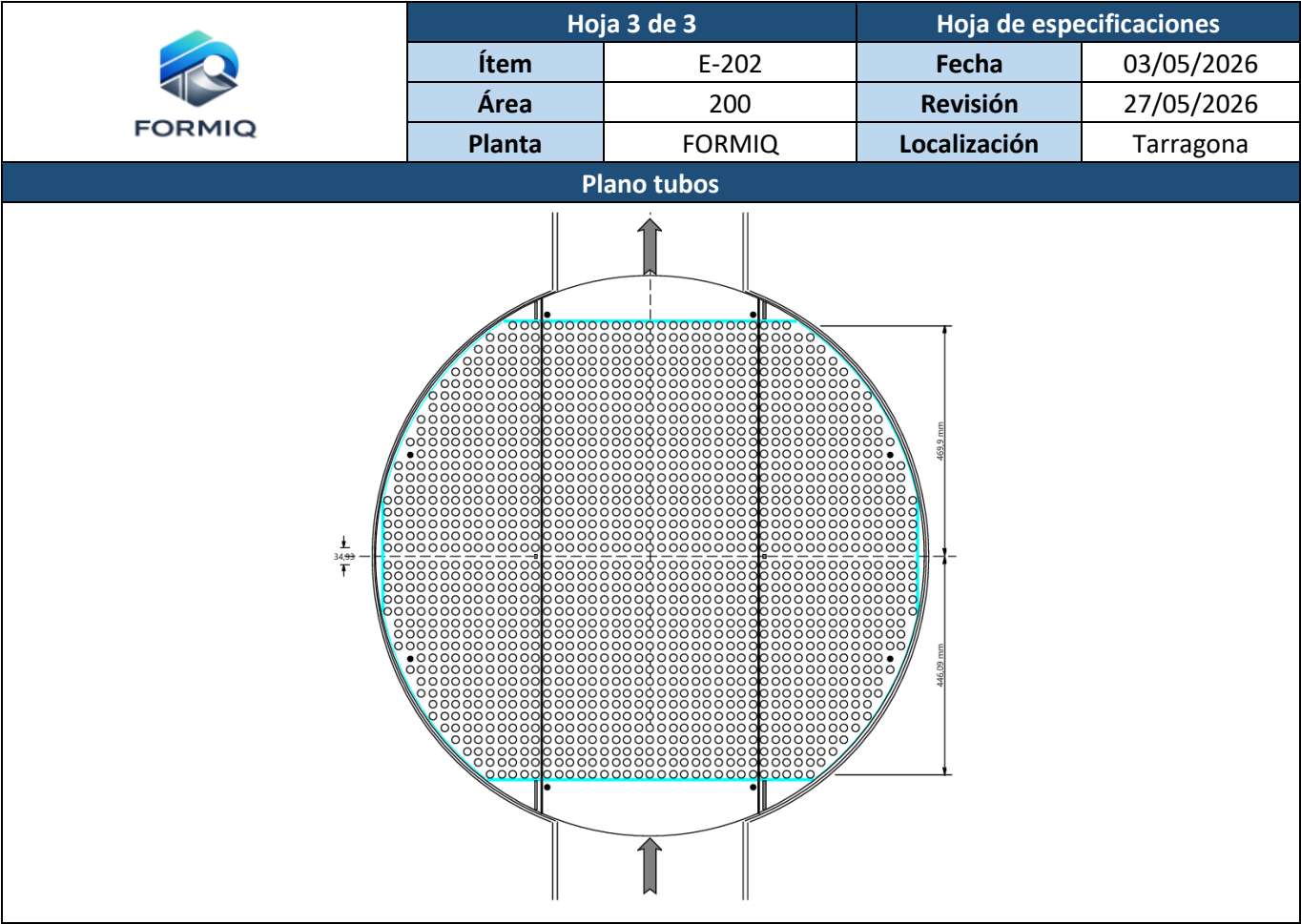
Plano carcasa	

 FORMIQ	Hoja 3 de 3		Hoja de especificaciones	
	Ítem	E-201	Fecha	03/05/2026
	Área	200	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Plano tubos				
				

		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-202	Fecha	03/05/2026
		Área	200	Revisión	27/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de calor			
Función del equipo		Calentar la mezcla de metanol y aire de 147 a 250 °C			
Componente principal	Carcasa	Dowtherm A			
	Tubos	Metanol y Aire			
Número de carcasas		1			
Área (m2)		81,1		Dimensiones (mm)	1160
Coste (€)		57.881,47€		Tipo	BEM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		53946		76181	
Líquido (kg/h)		0	0	76181	76181
Vapor (kg/h)		53946	53946	0	0
Temperatura (°C)		147,28	250	300	260
Presión (kPa)		239	210	300	273
Densidad (kg/m3)		1,99	1,41	811,83	853,02
Viscosidad (cP)		0,0228	0,0266	0,2033	0,262
Calor específico (kJ/(kg·K))		1,099	1,142	2,114	1,963
Velocidad Media/Máx (m/s)		17,92 /29,02		1,04 /1,06	
Calor latente (kJ/kg)		/	/	/	/
Calor intercambiado (kW)		1725,2	MTD corregido (°C)		66,98
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	207,1			
	Sucio	189,8			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		285		335	
Presión de diseño (kPa)		1		400	
Nº de pasos		1		2	
Peso del equipo vacío (kg)		4356,9	Peso con agua (kg)		10779,2
Nº de tubos	250	OD (mm)	19,05	Pitch (mm)	23,81
Tipo	Plano	Longitud (mm)		5500	
ID Carcasa (mm)	1150		OD Carcasa (mm)		1160
Nº Baffles	10		Espacio C-C (mm)		590
Tipo Baffle	Single segmental		Posición		Horizontal
Codigo de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service

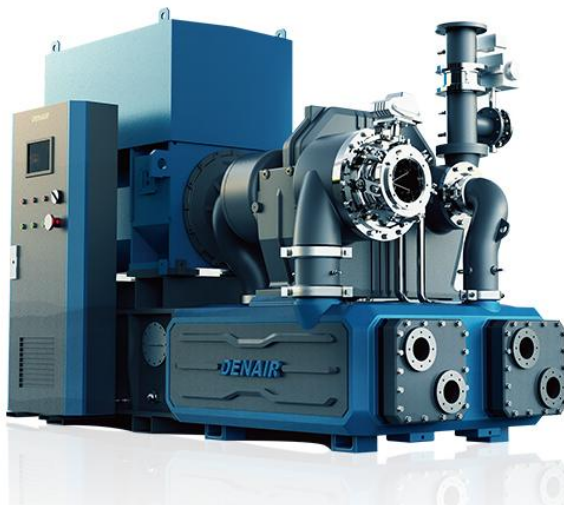
Plano carcasa





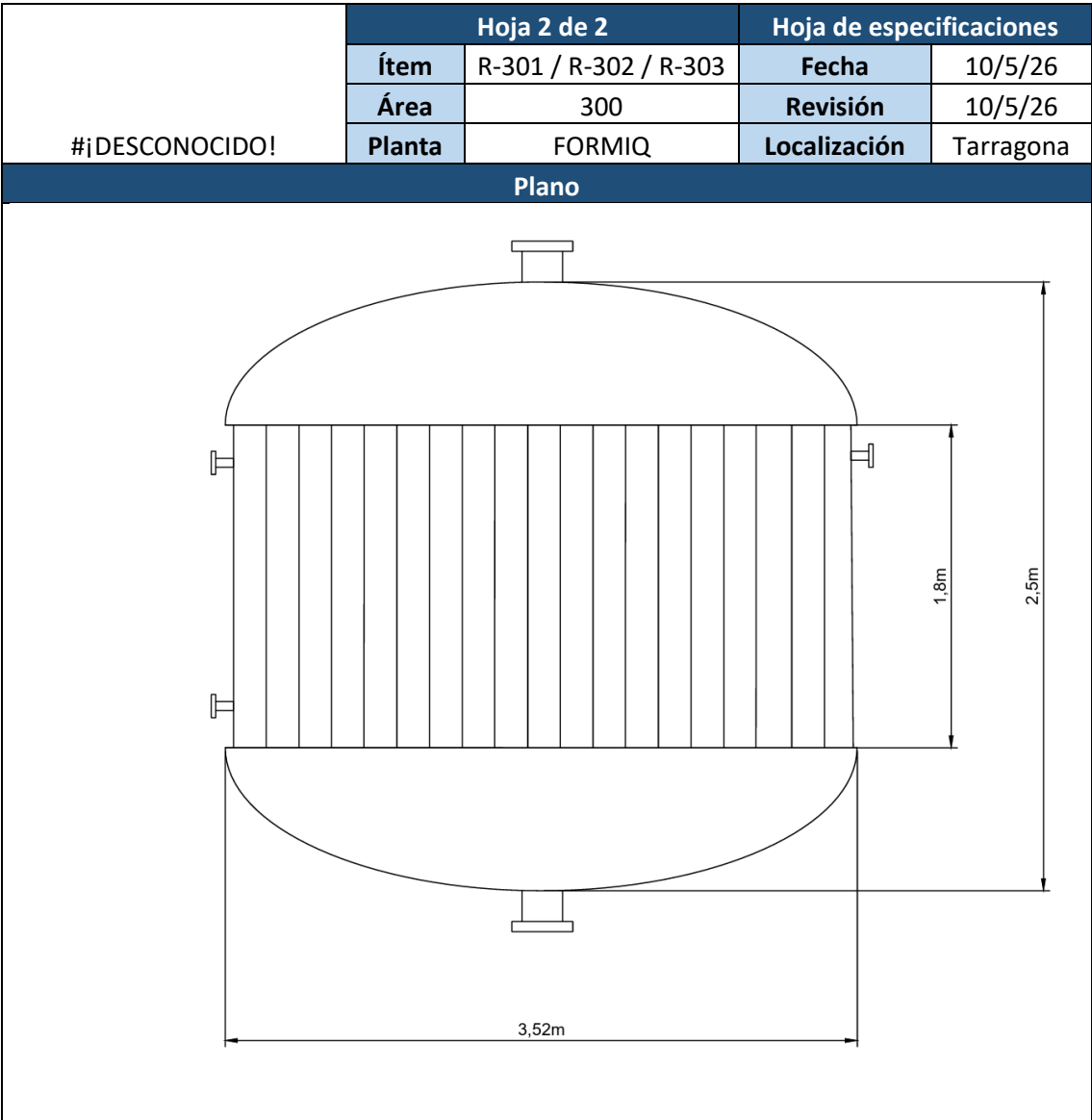
	Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
	Ítem	M-201	Fecha	14/05/2026
	Área	200	Revisión	21/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Mezclador estático			
Función del equipo	Mezclar las corrientes gaseosas de metanol y aire			
Componente principal	Metanol y aire			
Fase	Gas			
Coste (€)	95.861,12 €			
Datos de operación				
Tipo de mezcla	Estática			
Temperatura (°C)	133,2			
Presión (kPa)	250			
Caudal (m3/h)	53924,911			
Datos de construcción				
Fabricante	PRIMX			
Modelo	PMS			
Material	AISI 316L			
Nombre de elementos	4			
Tipo de elemento	PMS			
Longitud (mm)	5640			
Diámetro (mm)	1130			
ΔP (kPa)	1,648			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	BL-201 a BL-203	Fecha	20/05/2026
	Área	200	Revisión	25/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Soplador de aire			
Función del equipo	Captación de aire para el proceso			
Componente principal	O2 y N2			
Fase	Gas			
Coste (€)	248.683,62 €			
Datos de operación				
Temperatura (°C)	25			
Presión (kPa)	101,13			
Caudal (m3/h)	20502,3			
Potencia (kW)	333,8			
Datos de construcción				
Fabricante	Atlas Copco			
Modelo	Soplante centrífuga de una etapa ZHA			
Material	AISI 316L			
Caudal máx/mín (m3/h)	7000 / 32000			
Presión máx/mín (bar(g))	0,3 / 1,2			
Potencia máx/mín (kW)	250 / 1000			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	CP-201 y CP-202	Fecha	20/05/2026
	Área	200	Revisión	25/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Compresor centrífugo			
Función del equipo	Comprimir el aire para el proceso			
Componente principal	O2 y N2			
Fase	Gas			
Coste (€)	1.915.697,42€			
Datos de operación				
Temperatura (°C)	25			
Presión (kPa)	191			
Caudal (m3/h)	13040,9			
Potencia (kW)	389,2			
Datos de construcción				
Fabricante	DENAIR			
Modelo	DAC250			
Material	AISI 316L			
Caudal máx/mín (m3/h)	10500 / 15600			
Presión máx/mín (bar(g))	0,6 / 25			
Potencia máx/mín (kW)	928 / 1375			
Largo (mm)	4500			
Ancho (mm)	2250			
Alto (mm)	2380			
Peso (kg)	17500			
Esquema				
				

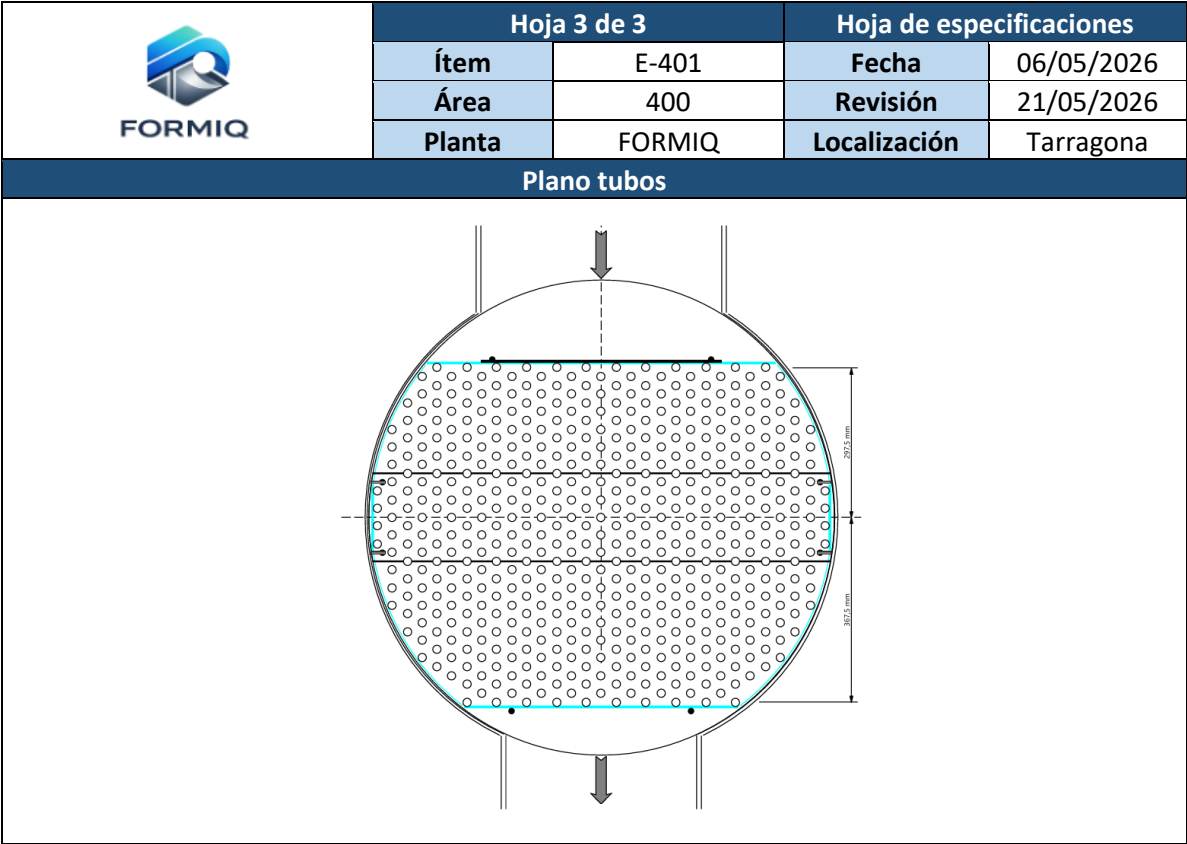
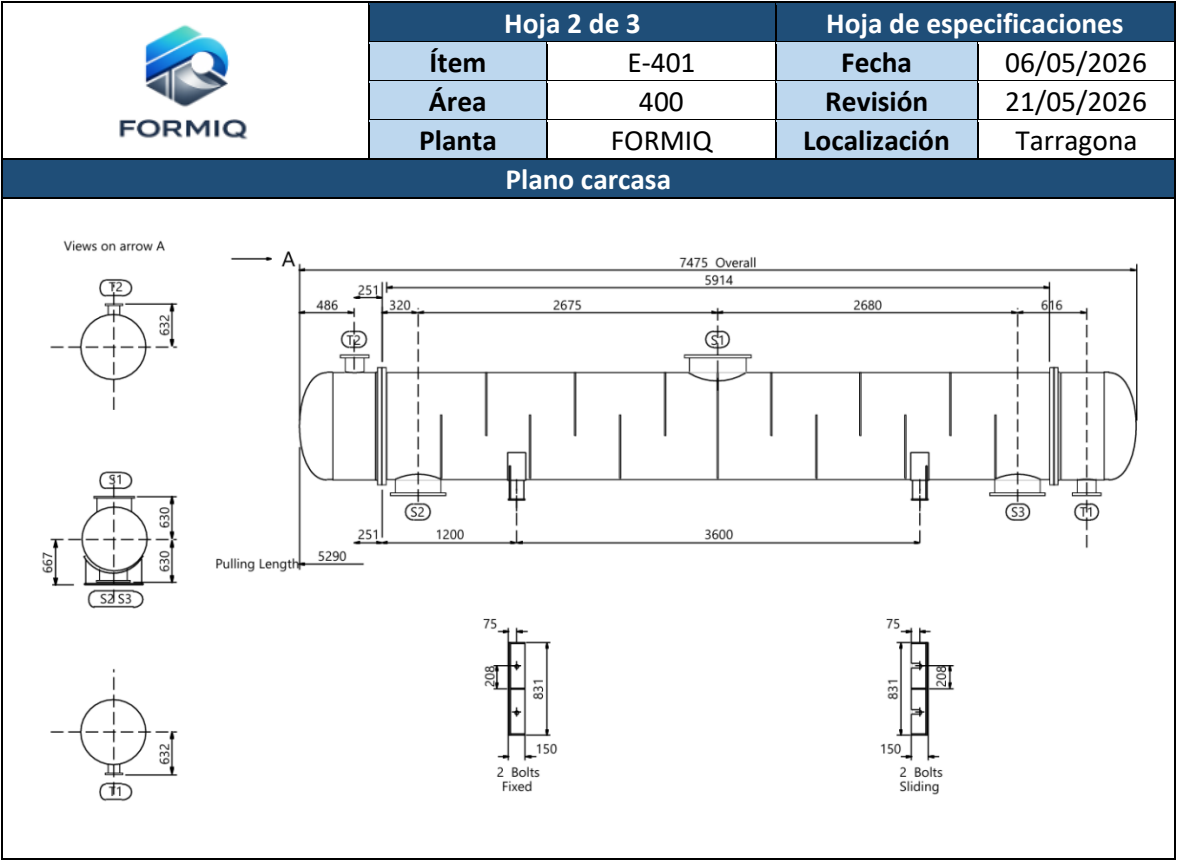
2.5.3 Área 300

 FORMIQ		Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
		Ítem	R-301-302-303	Fecha	10/5/26
		Área	300	Revisión	10/5/26
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Reactor catalítico heterogéneo multitubular			
Función del equipo		Oxidar catalíticamente el metanol en formaldehído.			
Componente principal	Carcasa	Dowtherm A			
	Tubos	Metanol, Aire y Formaldehido			
Condiciones de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		423000	423000	26967,59	26967,59
Líquido (kg/h)		423000	423000	0	0
Vapor (kg/h)		0	0	26967,59	26967,59
Temperatura (°C)		230	242,88	250	245,85
Presión (bar)		1,5	1,453	2	1,89
Condiciones del lecho catalítico					
Tipo de catalizador		HyKat SMF-50 // CHEMPACK			
Tipo de material inerte		Pall Rings AISI 316L			
Densidad aparente (kg/m3)		850	Diámetro de partícula (mm)		45
Porosidad		0,45	Masa de lecho por tubo (kg)		1,75
		Longitud (mm)		% inerte	% catalizador
Sección	Sección 1	257		100	0
	Sección 2	823		85	15
	Sección 3	514		60	40
	Sección 4	206		100	0
Datos de construcción					
Volumen de tubos total (m3)		6,12	Volumen reactor total (m3)		24,33
Tubos					
Material		AISI 316L			
Longitud (mm)		1800	Nº de pasos		1
Nº de tubos	3000	ID (mm)	38	OD (mm)	43,64
Pitch	Tipo	Triangular			
	Grados (º)	30			
Carcasa					
Material		ASTM A516 Gr. 70			
Longitud (mm)		2500	Nº de pasos		1
ID (mm)		3320	OD (mm)		3520
Nº Baffles		2	Separación entre baffles (m)		0,6
Baffle Cut (m)		0,82			
Aislante					
Material	Lana mineral industrial		Espesor (mm)		80
Condiciones de diseño					
Presión de diseño (bar)		3	Temperatura de diseño (°C)		300
Norma de diseño		ASME VIII Div. 1			

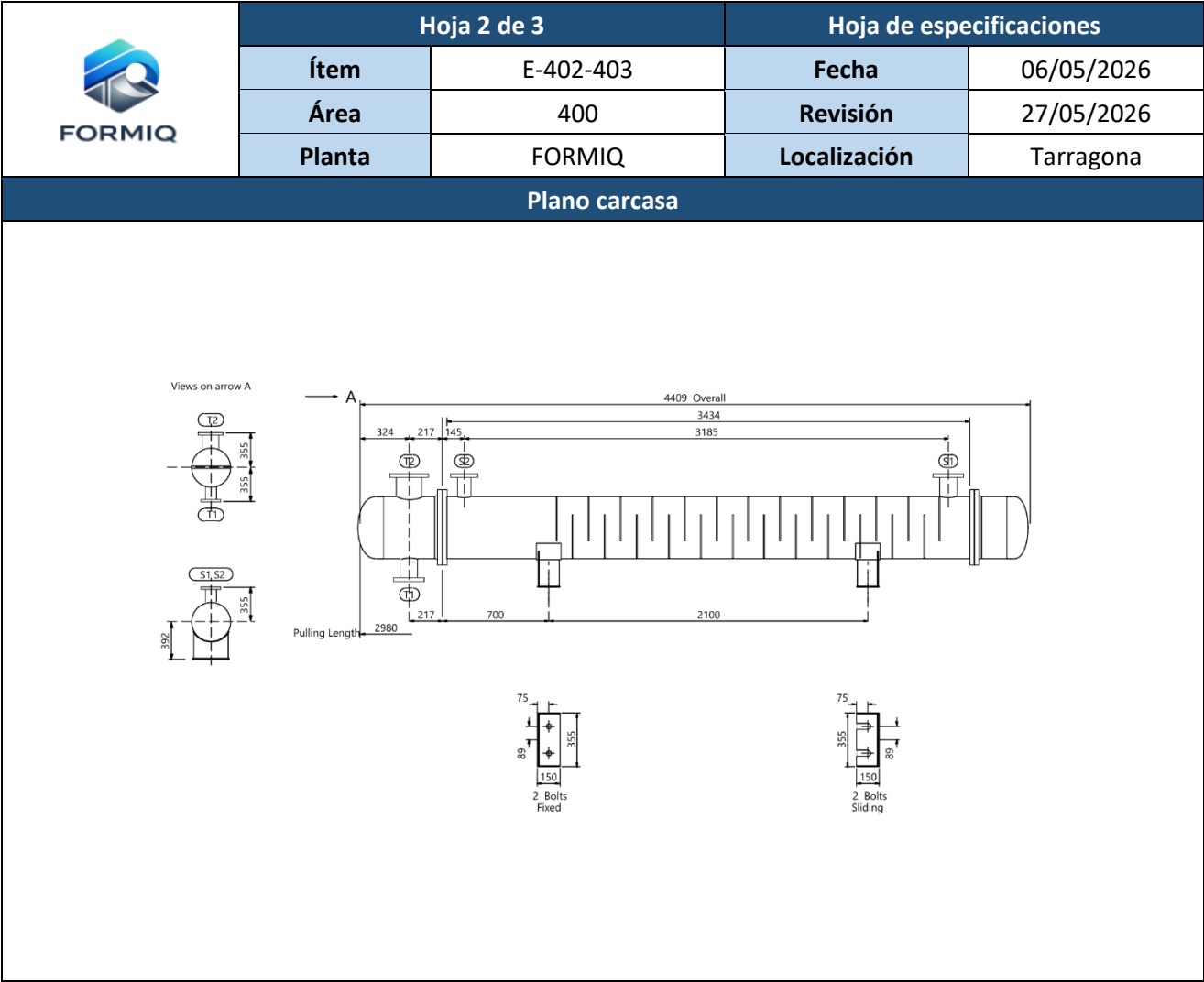


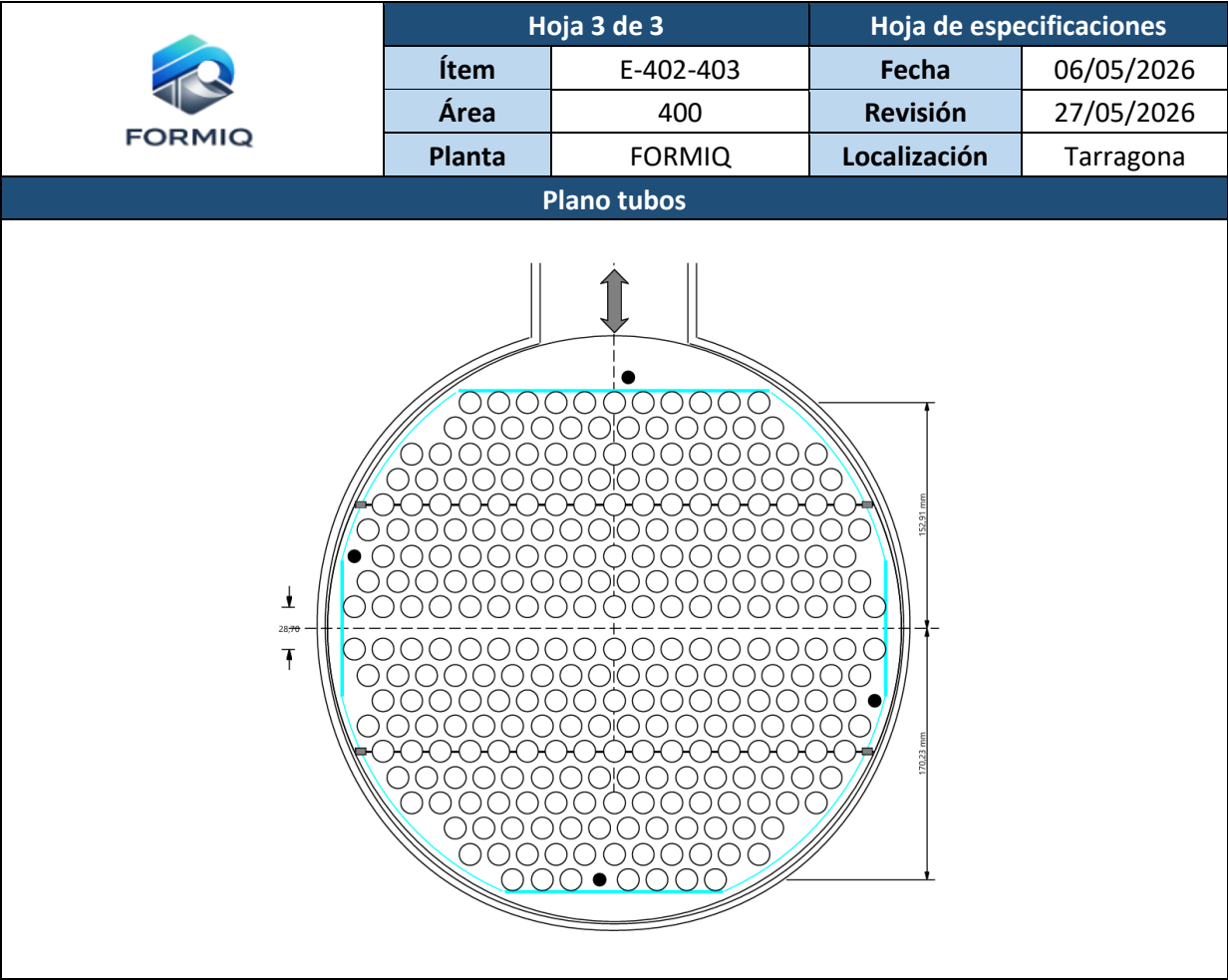
2.5.4 Área 400

 FORMIQ		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-401	Fecha	06/05/2026
		Área	400	Revisión	21/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de productos			
Función del equipo		Refrigerar la corriente de salida de los reactores de 245ºC 90ºC			
Componente principal	Carcasa	Formaldehído y aire			
	Tubos	Agua			
Número de carcasas		1			
Área (m2)		74,3		Dimensiones (mm)	960
Coste (€)		56.308,52 €		Tipo	BJM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		53935		111938	
Líquido (kg/h)		0	0	111938	111938
Vapor (kg/h)		53935	53935	0	0
Temperatura (ºC)		245,85	90	25	44,99
Presión (kPa)		189	167,2	250	239,588
Densidad (kg/m3)		1,22	1,54	1007,38	992,15
Viscosidad (cP)		0,0252	0,0193	0,8904	0,5954
Calor específico (kJ/(kg·K))		1,153	1,102	4,202	4,224
Velocidad Media/Máx (m/s)		7 27,63		1,11 / 1,12	
Calor latente (kJ/kg)		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Calor intercambiado (kW)		2628,1	MTD corregido (ºC)		115,83
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	337,1			
	Sucio	292,9			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (ºC)		285		80	
Presión de diseño (kPa)		300		300	
Nº de pasos		1		1	
Peso del equipo vacío (kg)		4119	Peso con agua (kg)		8531,6
Nº de tubos	210	OD (mm)	19,05	Pitch (mm)	35
Tipo	Plano	Longitud (mm)		6000	
ID Carcasa (mm)	950		OD Carcasa (mm)		960
Nº Baffles	14		Espacio C-C (mm)		400
Tipo Baffle	Single segmental		Posición		Horizontal
Código de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service

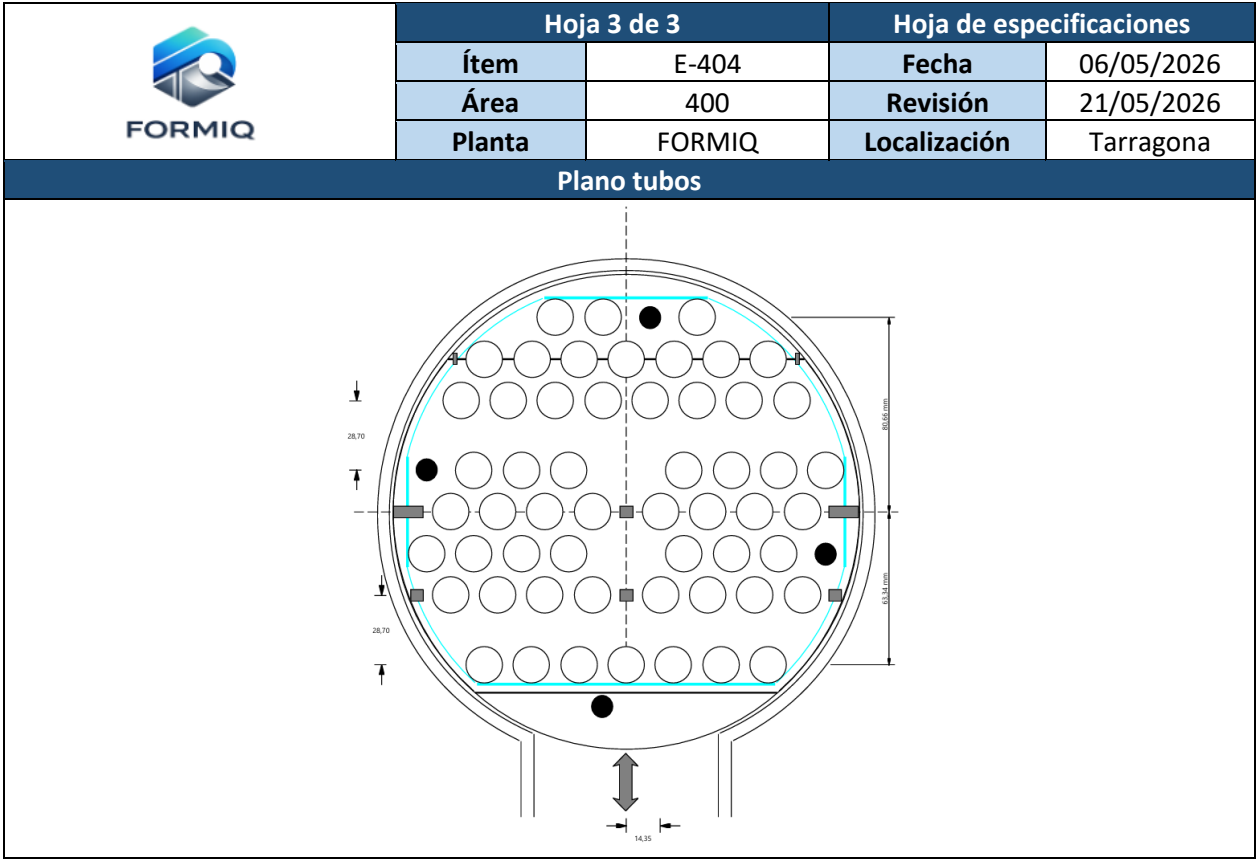
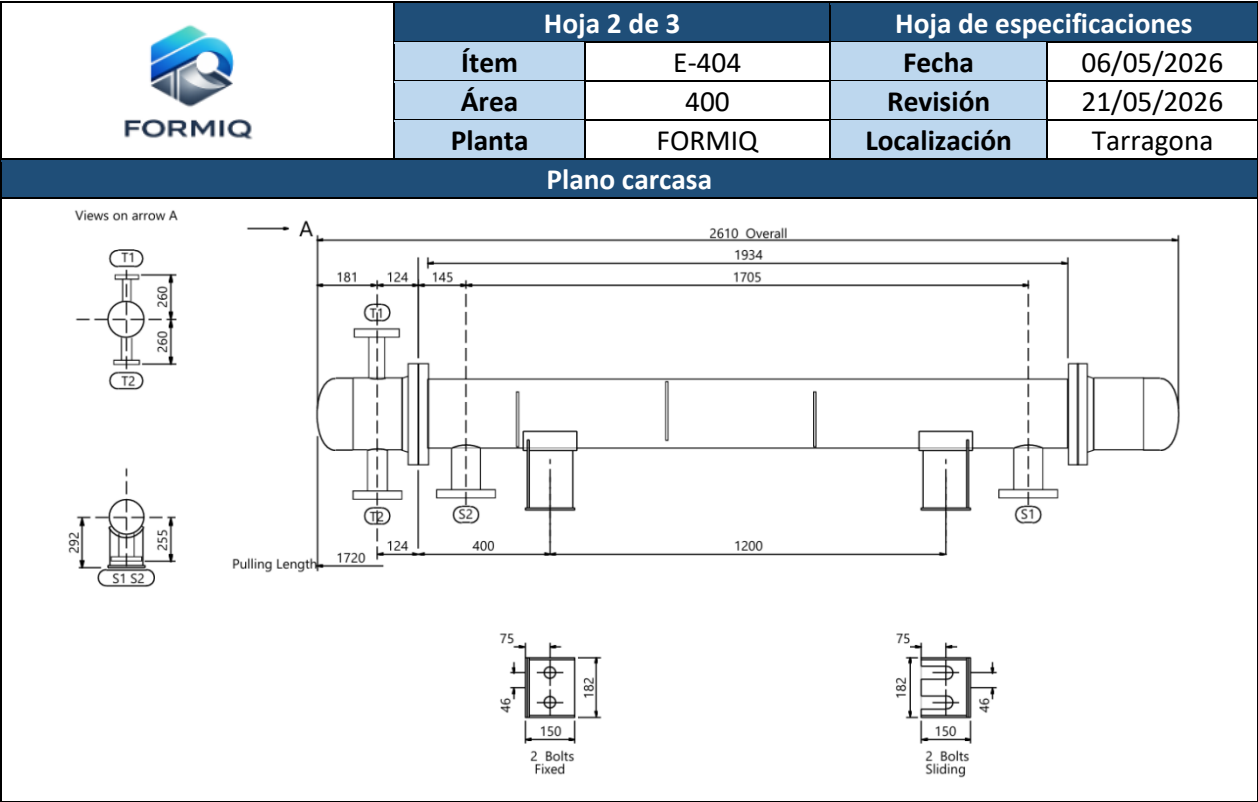


		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-402-403	Fecha	06/05/2026
		Área	400	Revisión	27/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de formaldehído			
Función del equipo		Refrigerar la recirculación de la torre de absorción			
Componente principal	Carcasa	Formaldehído y gases de proceso			
	Tubos	Agua			
Número de carcasas		1			
Área (m2)		50,6	Dimensiones (mm)	400	
Coste (€)		51.065,54 €	Tipo	BEM	
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		34082		81463	
Líquido (kg/h)		34082	34082	81463	81463
Vapor (kg/h)		0	0	0	0
Temperatura (°C)		66,55	41,12	25	35
Presión (kPa)		184	168	250	233
Densidad (kg/m3)		899,37	921,88	1007,38	999,82
Viscosidad (cP)		0,3308	0,4846	0,8907	0,7185
Calor específico (kJ/(kg·K))		3,999	3,954	4,202	4,227
Velocidad Media/Máx (m/s)		1,12 / 1,34		1,2 / 1,23	
Calor latente (kJ/kg)		/	/	/	/
Calor intercambiado (kW)		957	MTD corregido (°C)		21,01
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	1758			
	Sucio	874,3			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		105		70	
Presión de diseño (kPa)		300		300	
Nº de pasos		1		2	
Peso del equipo vacío (kg)		1065,3	Peso con agua (kg)		1489,7
Nº de tubos	293	OD (mm)	16	Pitch (mm)	20
Tipo	Plano	Longitud (mm)		3500	
ID Carcasa (mm)	400		OD Carcasa (mm)		410
Nº Baffles	20		Espacio C-C (mm)		105
Tipo Baffle	Single segmental		Posición		Horizontal
Codigo de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service

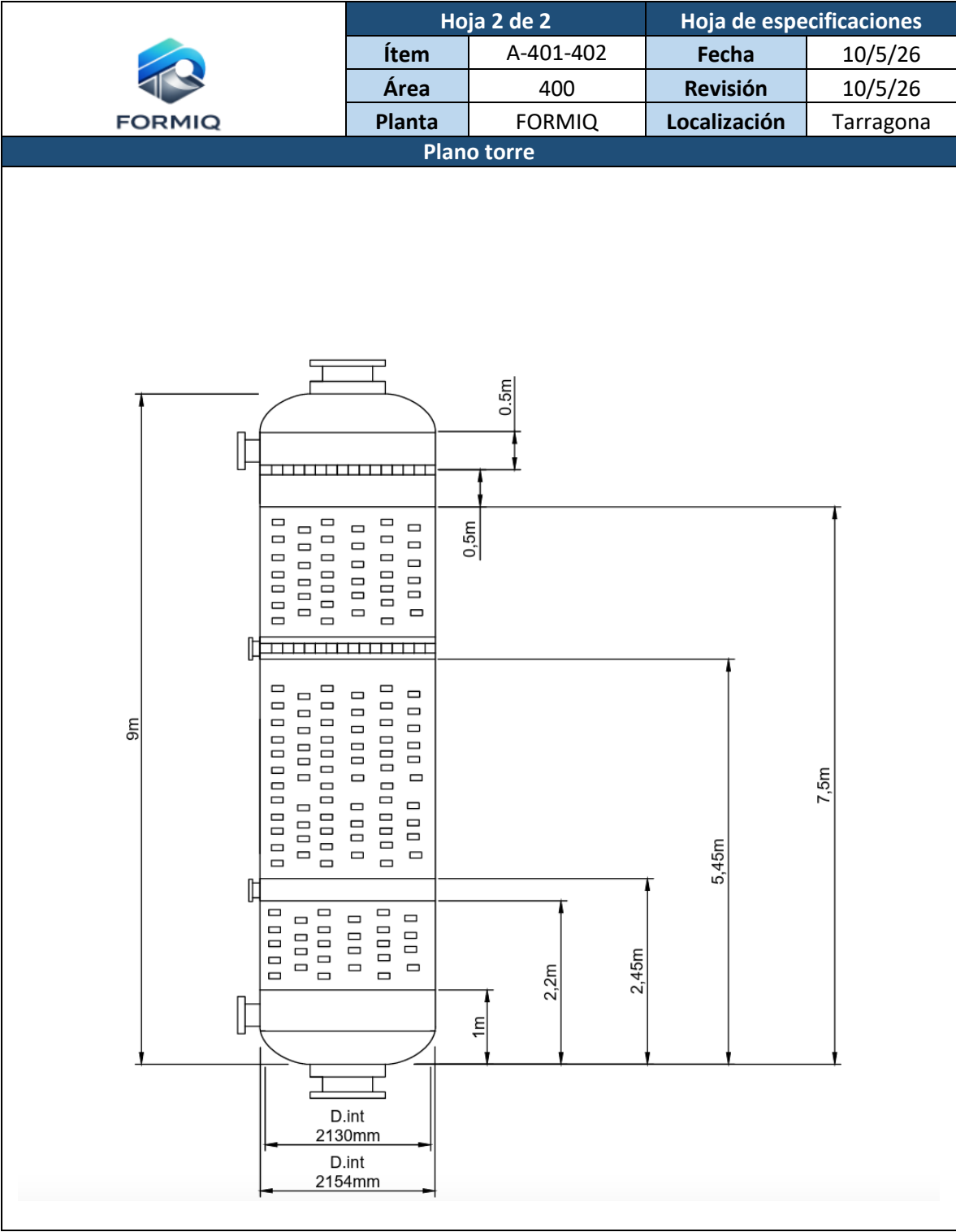




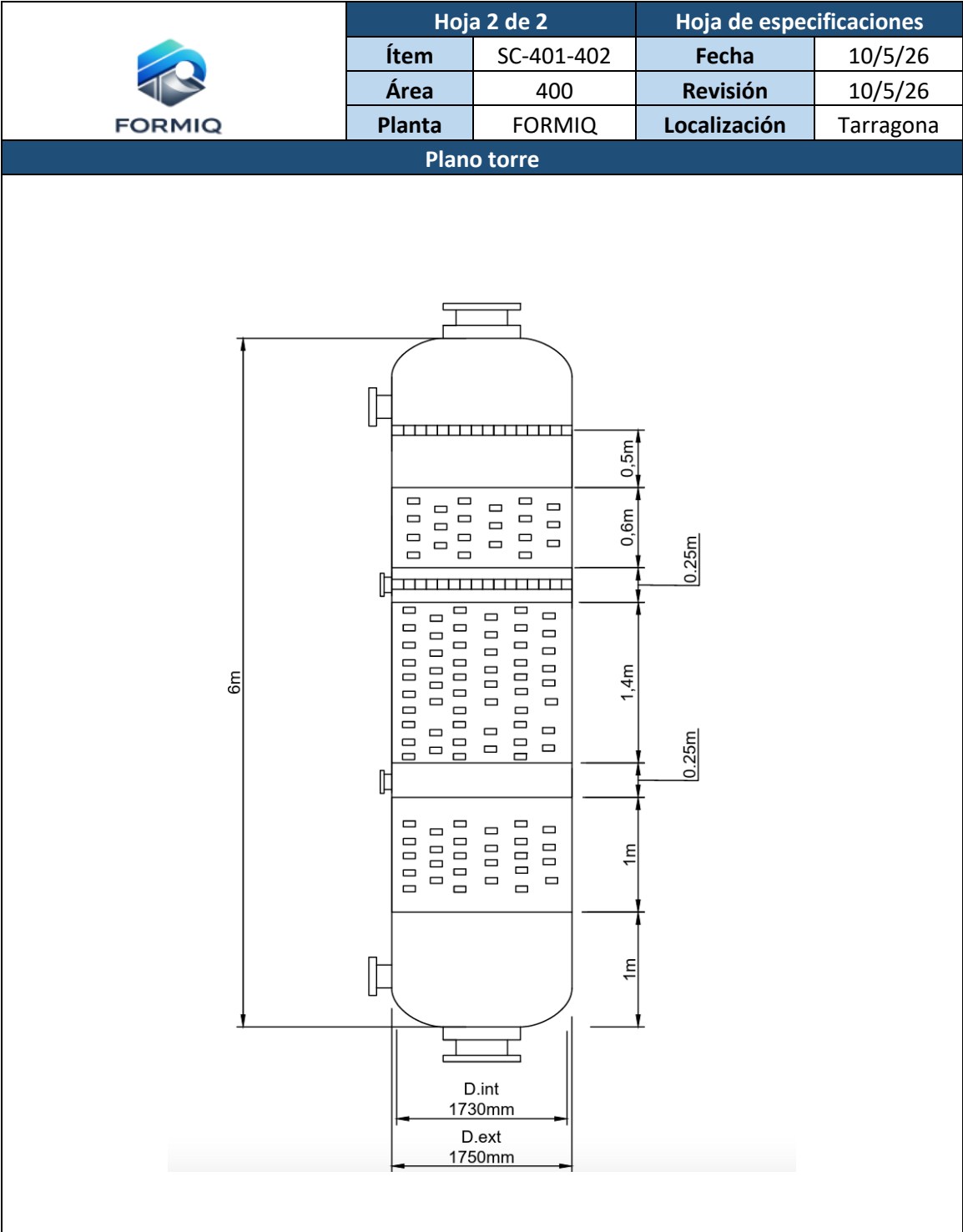
		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-404	Fecha	06/05/2026
		Área	400	Revisión	21/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador formaldehído 37%			
Función del equipo		Enfriar producto final antes de almacenamiento			
Componente principal	Carcasa	Agua			
	Tubos	Formaldehído y agua			
Número de carcasas		1			
Área (m2)		12,6		Dimensiones (mm)	210
Coste (€)		43.801,19 €		Tipo	BEM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		23468		12092	
Líquido (kg/h)		23468	23468	12092	12092
Vapor (kg/h)		0	0	0	0
Temperatura (°C)		10	29,99	68,4	25
Presión (kPa)		250	239,931	250	234,641
Densidad (kg/m3)		1018,55	1003,62	837,14	879,71
Viscosidad (cP)		1,2995	0,7976	0,2465	0,163
Calor específico (kJ/(kg·K))		4,147	4,223	3,834	3,672
Velocidad Media/Máx. (m/s)		0,25 / 1,34		1,07 / 1,84	
Calor latente (kJ/kg)		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Calor intercambiado (kW)		547,4	MTD corregido (°C)		17,62
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	1457,5			
	Sucio	965,1			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		65		105	
Presión de diseño (kPa)		300		300	
Nº de pasos		1		4	
Peso del equipo vacío (kg)		316,7	Peso con agua (kg)		366
Nº de tubos	130	OD (mm)	16	Pitch (mm)	20
Tipo	Plano	Longitud (mm)		2000	
ID Carcasa (mm)	200		OD Carcasa (mm)		210
Nº Baffles	9		Espacio C-C (mm)		450
Tipo Baffle	Single segmental		Posición		Horizontal
Código de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service



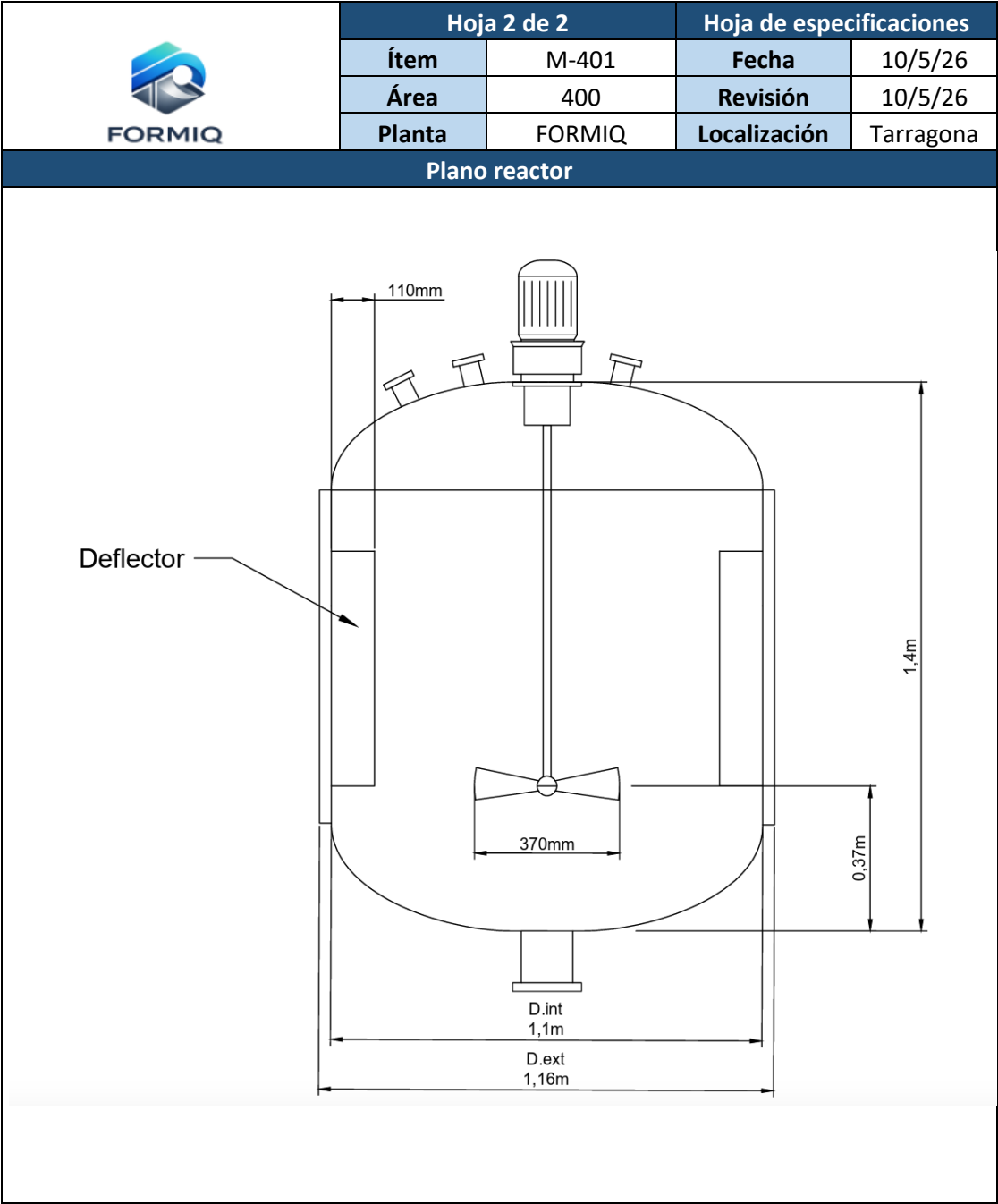
 FORMIQ	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	A-401-402	Fecha	10/5/26
	Área	400	Revisión	10/5/26
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Torre de absorción de formaldehído.			
Función del equipo	Absorber formaldehído mediante agua.			
Componentes principales	Agua, Formaldehído, Metanol y Aire			
Condiciones de operación				
Caudal de líquido (kg/s)	9,69			
Caudal de vapor (kg/s)	7,49			
Ratio L/V molar	2			
Tipo de operación	Continua, contracorriente gas-líquido			
Sentido de flujo	Gas ascendente y líquido descendente.			
	Cabezas		Colas	
Temperatura (°C)	53,7		68,4	
Presión (bar)	1,826		1,85	
Condiciones del lecho de relleno				
Tipo de relleno	Pall Rings	Material del relleno		AISI 316L
Diámetro de partícula (mm)	25	Número de lechos		3
Altura/Posición del 1r lecho (m)	Empieza a 1 m y termina a 2,2 m.			
Altura/Posición del 2o lecho (m)	Empieza a 2,45 m y termina a 5,45 m.			
Altura/Posición del 3r lecho (m)	Empieza a 5,70 m y termina a 7,5 m.			
Diámetro del lecho (m)	2,13	Densidad aparente (kg/m3)		360
Superficie específica (m2/m3)	210	Masa de relleno (kg)		7697
Condiciones de diseño				
Presión de diseño (bar)	3,2	Temperatura de diseño (°C)		85
Norma de diseño	ASME VIII	Velocidad de inundación (m/s)		2,27
Datos de construcción				
Material	AISI 316L			
Altura (m)	9			
ID (m)	2,13	OD (m)		2,154
Elementos				
Material elementos	AISI 316L			
	Tipo		Ubicación/Altura (m)	
Soporte de relleno	Rejilla de alta área libre		1 / 2,45 / 5,70	
Distribuidor de liquido	Bandeja perforada		8	
Eliminador de niebla	Malla metálica		8,5	
Extractor del líquido de la recirculación interna	Bandeja colectora parcial con salida lateral		2,2	
Redistribuidor del líquido de la recirculación interna	Bandeja perforada		5,45	
Rejilla retenedora superior	Rejilla de alta área libre		7,5	



 FORMIQ	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	SC-401-402	Fecha	10/5/26
	Área	400	Revisión	10/5/26
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Torre de absorción de formaldehído.			
Función del equipo	Absorber formaldehído mediante agua.			
Componentes principales	Agua, Formaldehído, Metanol y Aire			
Condiciones de operación				
Caudal de líquido (kg/s)	6,84			
Caudal de vapor (kg/s)	4,42			
Ratio L/V molar	1			
Tipo de operación	Continua, contracorriente gas-líquido			
Sentido de flujo	Gas ascendente y líquido descendente.			
	Cabezas		Colas	
Temperatura (°C)	50,56		53,7	
Presión (bar)	1,808		1,82	
Condiciones del lecho de relleno				
Tipo de relleno	Pall Rings	Material del relleno		AISI 316L
Diámetro de partícula (mm)	25	Número de lechos		3
Altura/Posición del 1r lecho (m)	Empieza a 1 m y termina a 2 m.			
Altura/Posición del 2o lecho (m)	Empieza a 2,25 m y termina a 3,65 m.			
Altura/Posición del 3r lecho (m)	Empieza a 3,90 m y termina a 4,5 m.			
Diámetro del lecho (m)	1,73	Densidad aparente (kg/m3)		360
Superficie específica (m2/m3)	210	Masa de relleno (kg)		2538,67
Condiciones de diseño				
Presión de diseño (bar)	3,2	Temperatura de diseño (°C)		75
Norma de diseño	ASME VIII	Velocidad de inundación (m/s)		3,17
Datos de construcción				
Material	AISI 316L			
Altura (m)	6			
ID (mm)	1730	OD (mm)		1750
Elementos				
Material elementos	AISI 316L			
		Tipo	Ubicación/Altura (m)	
Soporte de relleno	Rejilla de alta área libre		1 / 2,25 / 3,90	
Distribuidor de líquido	Bandeja perforada		5	
Eliminador de niebla	Malla metálica		5,5	
Extractor del líquido de la recirculación interna	Bandeja colectora parcial con salida lateral		2	
Redistribuidor del líquido de la recirculación interna	Bandeja perforada		3,65	
Rejilla retenedora superior	Rejilla de alta área libre		4,5	

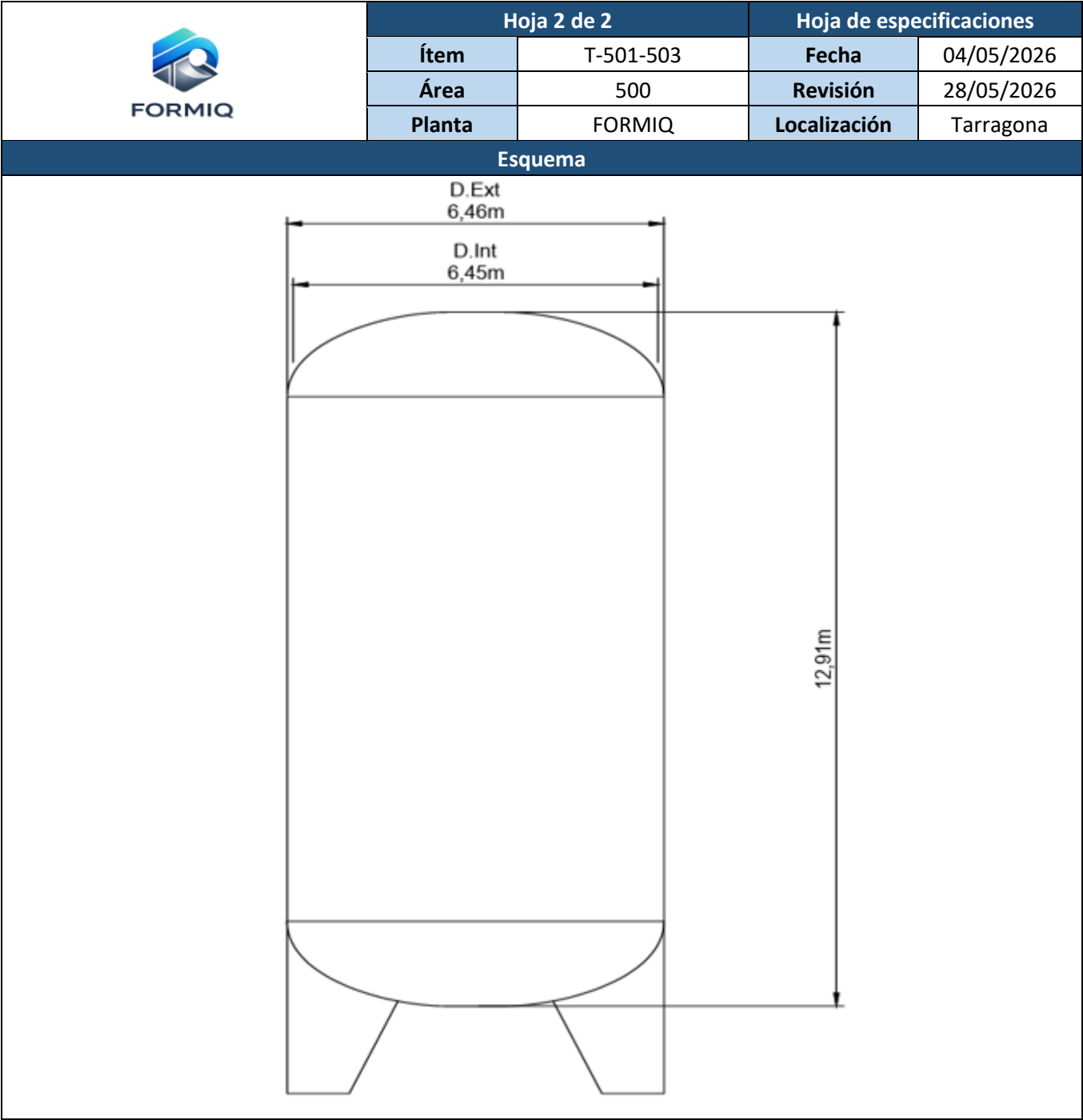


 FORMIQ	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	M-401	Fecha	11/5/26
	Área	400	Revisión	11/5/26
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Mezclador de líquido de tanque agitado			
Función del equipo	Mezclar la solución de formaldehído con agua y metanol para obtener una solución de 37% formaldehído y 3% metanol.			
Componente principal	Agua, Metanol y Formaldehído			
Condiciones de operación				
Temperatura (°C)	64,82			
Presión (bar)	1,1			
Densidad (kg/m3)	1050			
Viscosidad (cP)	1			
Caudales máxicos (kg/h)	Entrada			Salida
	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Producto
Metanol	1,35	0	377,83	379,18
O2	0,24	0	0	0,24
N2	0,93	0	0	0,93
Formaldehído	4676,72	0	0	4676,72
H2O	7412,31	169,66	0,76	7582,72
Datos de construcción				
Material	AISI 316L			
Forma	Cilíndrica			
Altura (m)	1,4			
ID (mm)	1100	OD (mm)		1116
Agitador				
Tipo de agitador	Turbina de aspas inclinadas 45º.			
Material	AISI 316L			
Potencia del agitador (kW)	0,75			
Diámetro agitador (mm)	370			
Velocidad de giro (rpm)	200			
Posición del agitador	0,37 m del fondo.			
Deflectores	Nº de deflectores		4	
	Anchura del deflector (mm)		110	
Condiciones de diseño				
Presión de diseño (bar)	2,3	Temperatura de diseño (°C)		85
Norma de diseño	ASME VIII Div. 1			



2.5.5. Área 500

 FORMIQ	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	T-501/502/503	Fecha	04/05/2026
	Área	500	Revisión	10/06/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Tanque de almacenamiento			
Función del equipo	Almacenamiento formaldehído 37%			
Componentes principales	Formaldehído, Agua y Metanol			
Fase	Líquido			
Coste (€)	103.122,45 €			
Datos de operación				
Tiempo de residencia (d)	3			
Temperatura (°C)	25			
Presión (kPa)	101325			
Volumen (m3)	275,23			
Material				
Tipo	AISI 316L			
Densidad (kg/m3)	8000			
Factor soldadura	1			
Datos de diseño				
Temperatura diseño (°C)	25 +/- 15			
Presión de diseño (kPa)	116523,75			
Norma/Código	UNE-EN 14015			
Capacidad total (m3)	316,5			
Diámetro externo (m)	6,46			
Diámetro interno (m)	6,45			
Altura (m)	12,91			
Grosor (mm)	0,006			
Peso tanque vacío (kg)	10700			
Peso tanque en operación (kg)	310700			



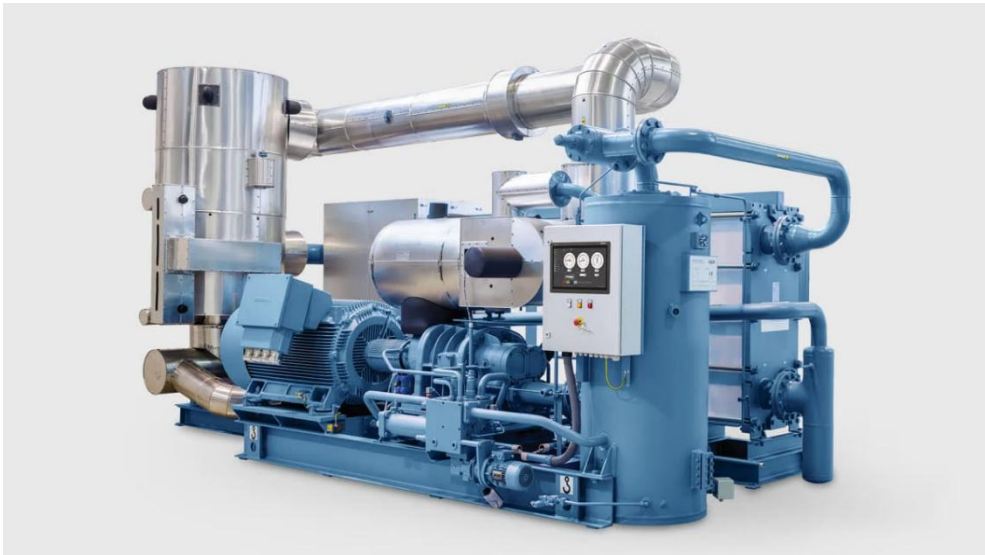
2.5.6. Área 600

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	TR-601 y TR-603	Fecha	08/05/2026
	Área	600	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Torre de refrigeración			
Función del equipo	Refrigerar agua			
Coste (€)	32.6174,9 €			
Datos de operación				
Fluido	Agua			
Caudal (kg/h)	111938			
Temperatura de entrada (°C)	45			
Temperatura de salida (°C)	25			
Potencia (kW)	2599,5			
Datos del equipo				
Altura (mm)	4711			
Longitud (mm)	3972			
Anchura (mm)	5172			
Peso vacío (kg)	3500			
Potencia (kW)	2766			
Empresa	EWK			
Modelo	EWB-1730			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	TR-601	Fecha	08/05/2026
	Área	600	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Torre de refrigeración			
Función del equipo	Refrigerar agua			
Coste (€)	32.6174,9 €			
Datos de operación				
Fluido	Agua			
Caudal (kg/h)	162926,00			
Temperatura de entrada (°C)	35			
Temperatura de salida (°C)	25			
Potencia (kW)	1891,75			
Datos del equipo				
Altura (mm)	4711			
Longitud (mm)	3972			
Anchura (mm)	5172			
Peso vacío (kg)	3500			
Potencia (kW)	2766			
Empresa	EWK			
Modelo	EWB-1730			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	CL-601 y CL-603	Fecha	08/05/2026
	Área	600	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Caldera de aceite térmico			
Función del equipo	Calentar el fluido térmico			
Coste (€)	1.058.012,37 €			
Datos de operación				
Fluido	Dowtherm A			
Caudal (kg/h)	76181,00			
Temperatura de entrada (°C)	260			
Temperatura de salida (°C)	300			
Potencia (kW)	1947,00			
Datos del equipo				
Altura (mm)	4325			
Longitud (mm)	2630			
Anchura (mm)	2908			
Peso vacío (kg)	/			
Potencia (kW)	2500,00			
Empresa	Babcock Wanson			
Modelo	EPC-ES 2500			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	CL-602	Fecha	08/05/2026
	Área	600	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Caldera de aceite térmico			
Función del equipo	Calentar el fluido térmico			
Coste (€)	1.058.012,37 €			
Datos de operación				
Fluido	Dowtherm A			
Caudal (kg/h)	31533,00			
Temperatura de entrada (°C)	260			
Temperatura de salida (°C)	300			
Potencia (kW)	806,00			
Datos del equipo				
Altura (mm)	2790			
Longitud (mm)	1595			
Anchura (mm)	1163			
Peso vacío (kg)	/			
Potencia (kW)	1000,00			
Empresa	Babcock Wanson			
Modelo	EPC-ES 1000			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	CH-601 y CH-602	Fecha	12/05/2026
	Área	600	Revisión	27/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Chiller			
Función del equipo	Refrigerar corriente de agua			
Coste (€)	2.632.705,63 €			
Datos de operación				
Caudal (kg/h)	23468			
Temperatura de entrada (°C)	30			
Temperatura de salida (°C)	10			
Potencia (kW)	545,00			
Datos del equipo				
Altura (m)	2650			
Longitud (m)	3700			
Anchura (m)	2100			
Peso vacío (kg)	6800			
Potencia (kW)	646,00			
Empresa	GEA			
Modelo	GEA Grasso FX P 650			
Esquema				
				

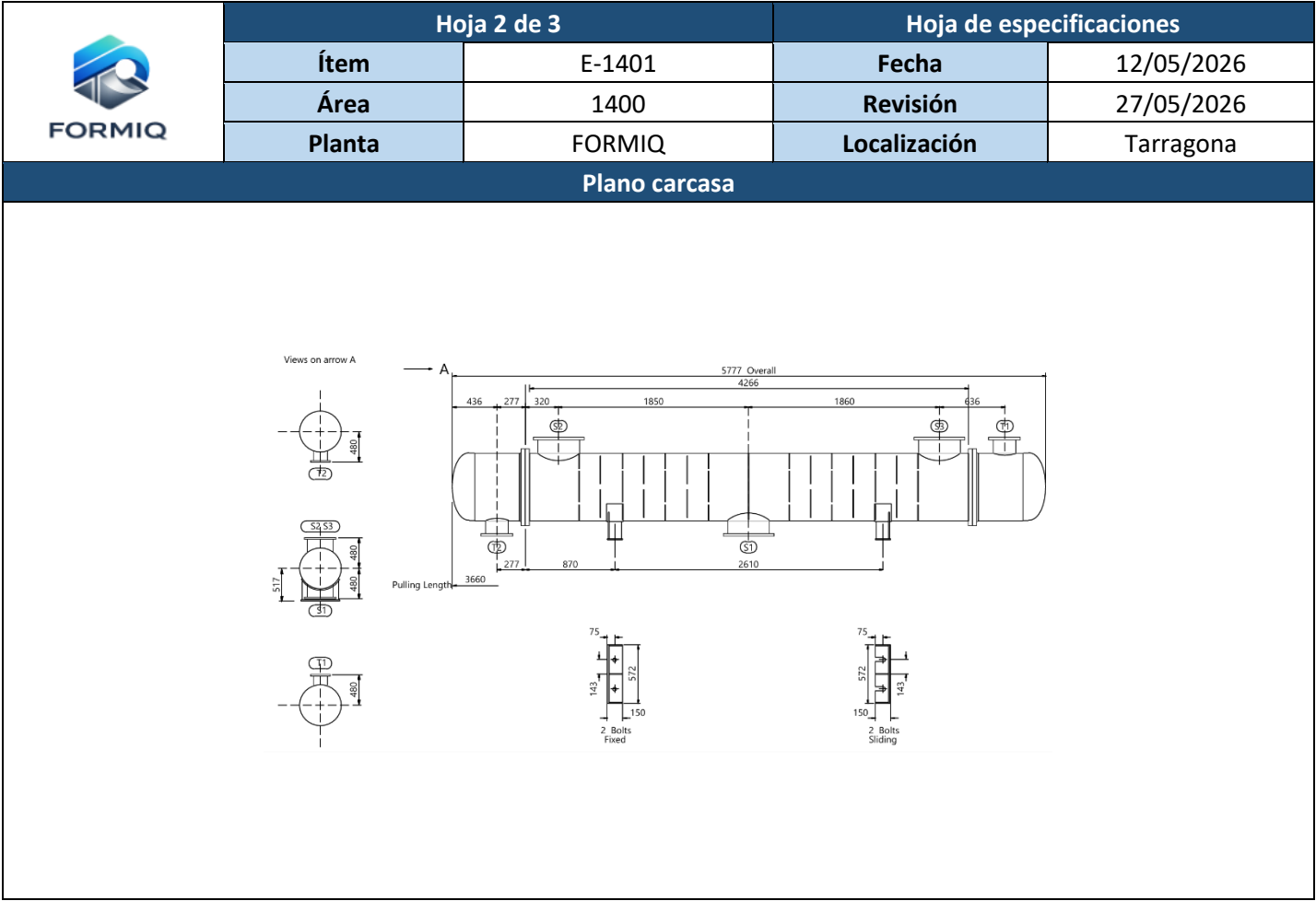
	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	RO-601	Fecha	09/06/2026
	Área	600	Revisión	09/06/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Estación osmosis inversa			
Función del equipo	Purificar agua de proceso			
Datos de operación				
Caudal (L/h)	6743,47			
Datos del equipo				
Altura (mm)	2100			
Longitud (mm)	3000			
Anchura (mm)	1100			
Tasa de producción (L/h)	10000			
Potencia (kW)	12,50			
Empresa	IDEAGUA			
Modelo	OI5280			
				

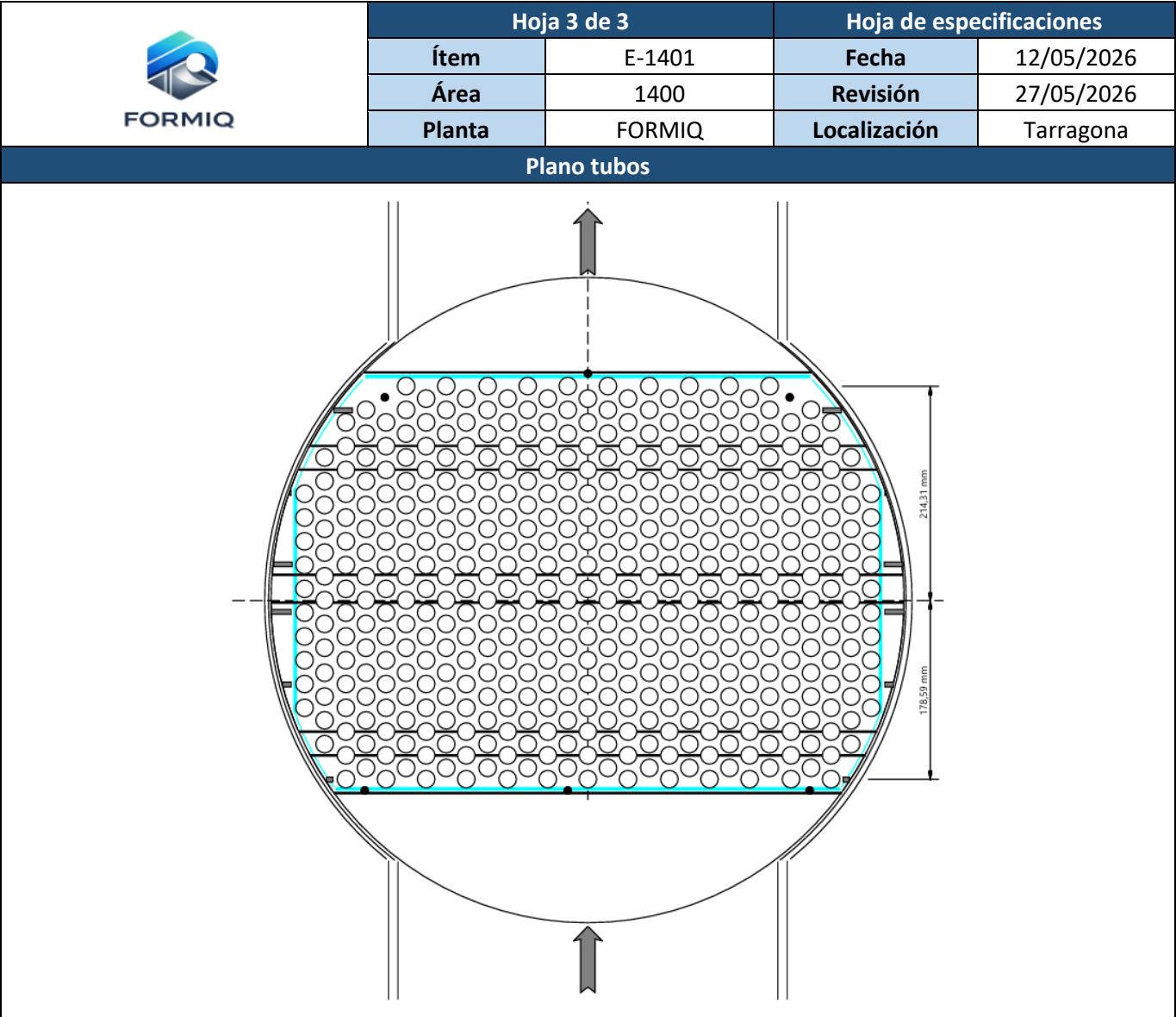
 FORMIQ	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	D-601	Fecha	09/06/2026
	Área	600	Revisión	09/06/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Estación descalcificadora de agua			
Función del equipo	Descalcificar agua de reposición de las torres			
Datos de operación				
Caudal (L/h)	7759,32			
Datos del equipo				
Tasa de alimentación máx. (L/h)	125			
Tasa de alimentación mín. (L/h)	20000			
Modelo	Industrial Water Softening			
Empresa	Babcock Wanson			



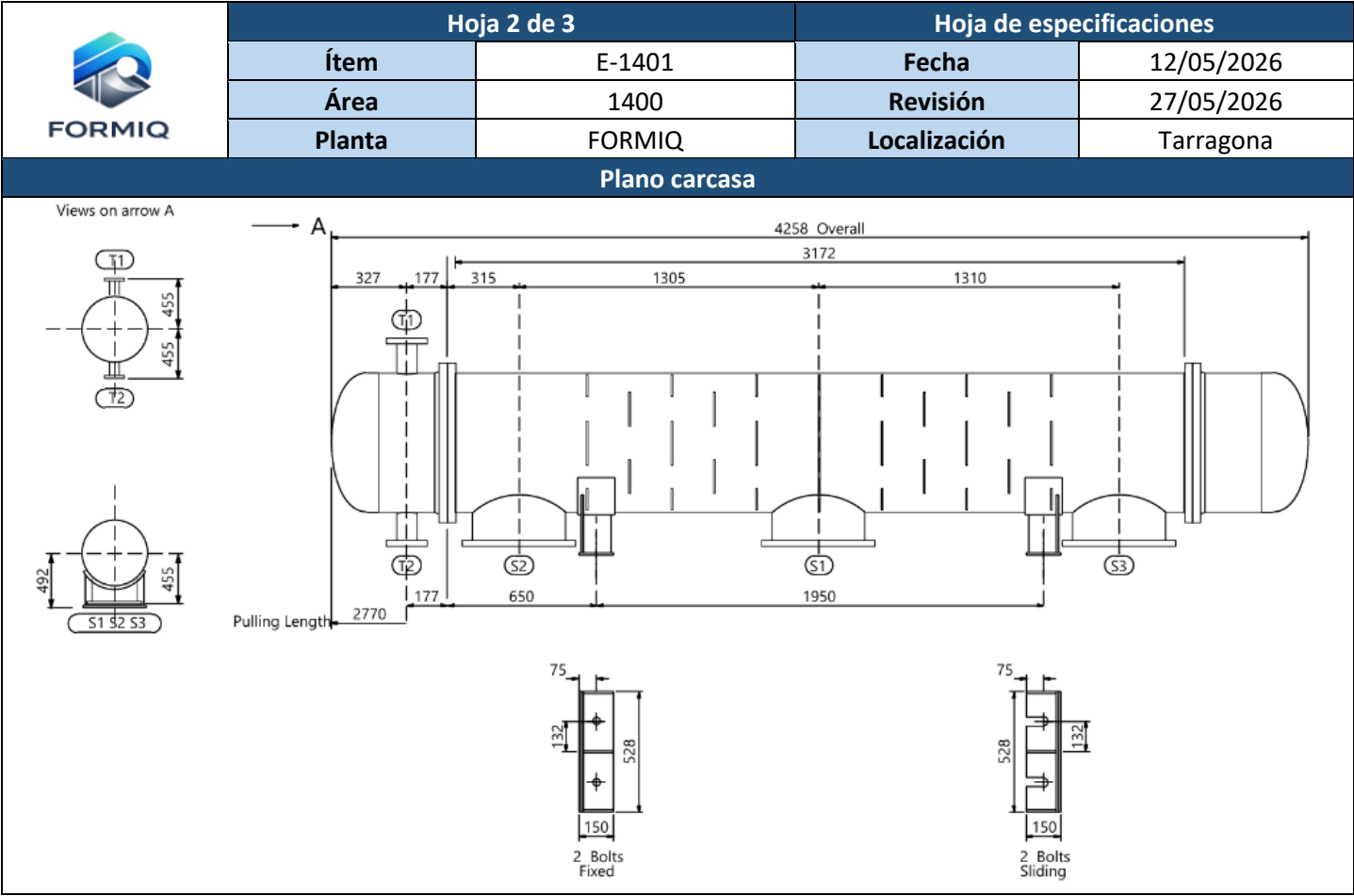
2.5.7 Área 1400

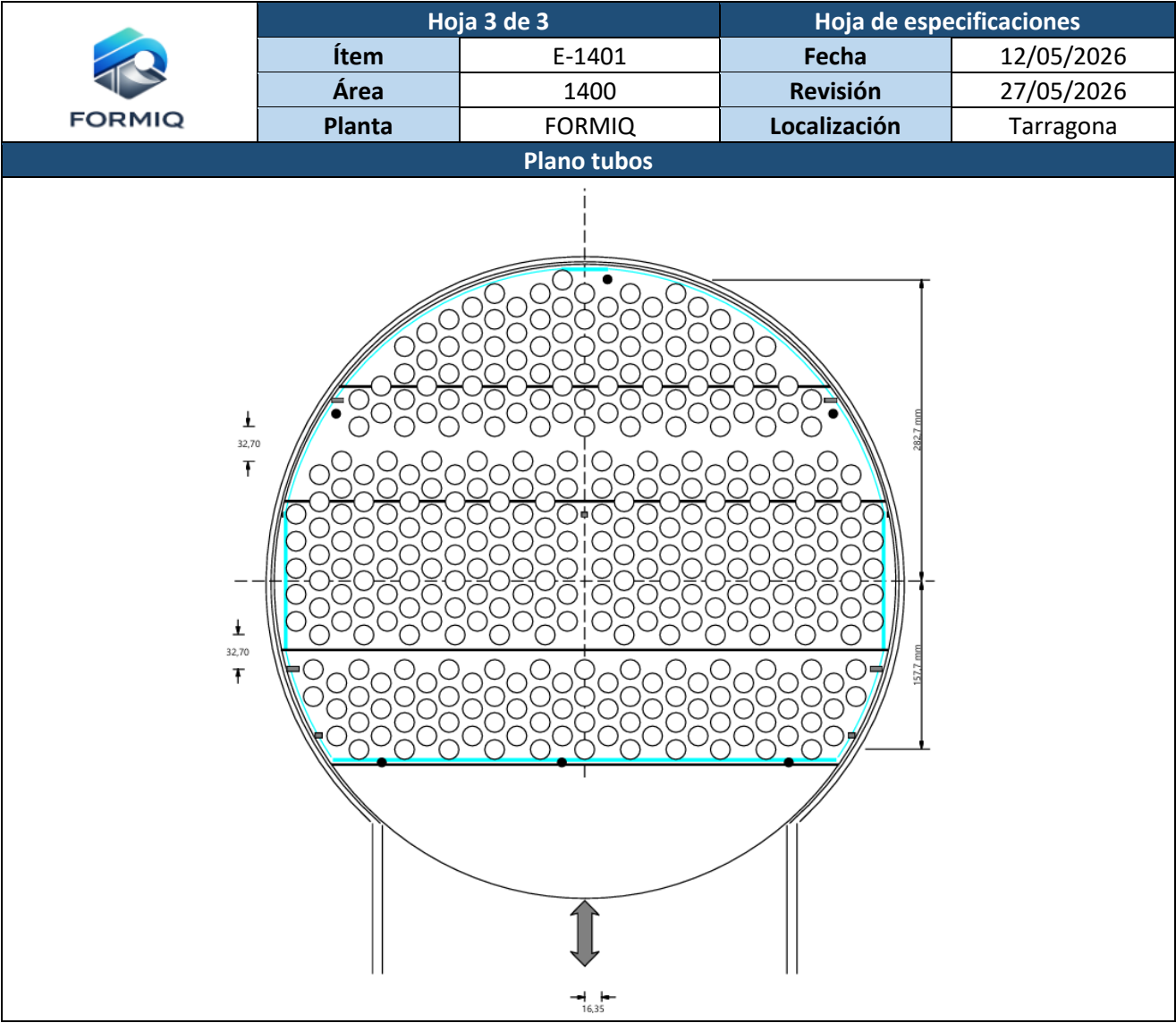
 FORMIQ		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-1401	Fecha	12/05/2026
		Área	1400	Revisión	27/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de Calor			
Función del equipo		Calentar los gases de salida del proceso			
Componente principal	Carcasa	Dowtherm A			
	Tubos	CO, O2, N2, Metanol, Formaldehído y H2O			
Número de carcasas		4			
Área (m2)		475		Dimensiones (mm)	660
Coste (€)		173.634,2 €		Tipo	BJM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		48587		423000	
Líquido (kg/h)				423000	423000
Vapor (kg/h)		48587	48587	0	0
Temperatura (°C)		50,56	202	242,88	230
Presión (kPa)		180	107	142	132
Densidad (kg/m3)		1,87	0,76	869,65	881,88
Viscosidad (cP)		0,0189	0,025	0,2934	0,3202
Calor específico (kJ/(kg·K))		1,064	1,097	1,899	1,851
Velocidad Media/Máx (m/s)		/16,93		0,74 /0,75	
Calor latente (kJ/kg)		/	/	/	/
Calor intercambiado (kW)		2827,1	MTD corregido (°C)		62,63
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	100,7			
	Sucio	96,4			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		235		280	
Presión de diseño (kPa)		300		300	
Nº de pasos		1		1	
Peso del equipo vacío (kg)		2634,2	Peso con agua (kg)		4140,7
Nº de tubos	465	OD (mm)	19,05	Pitch (mm)	23,81
Tipo	Plano	Longitud (mm)		4350	
ID Carcasa (mm)	650		OD Carcasa (mm)		660
Nº Baffles	21		Espacio C-C (mm)		210
Tipo Baffle	Triple segmental		Posición		Horizontal
Código de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service





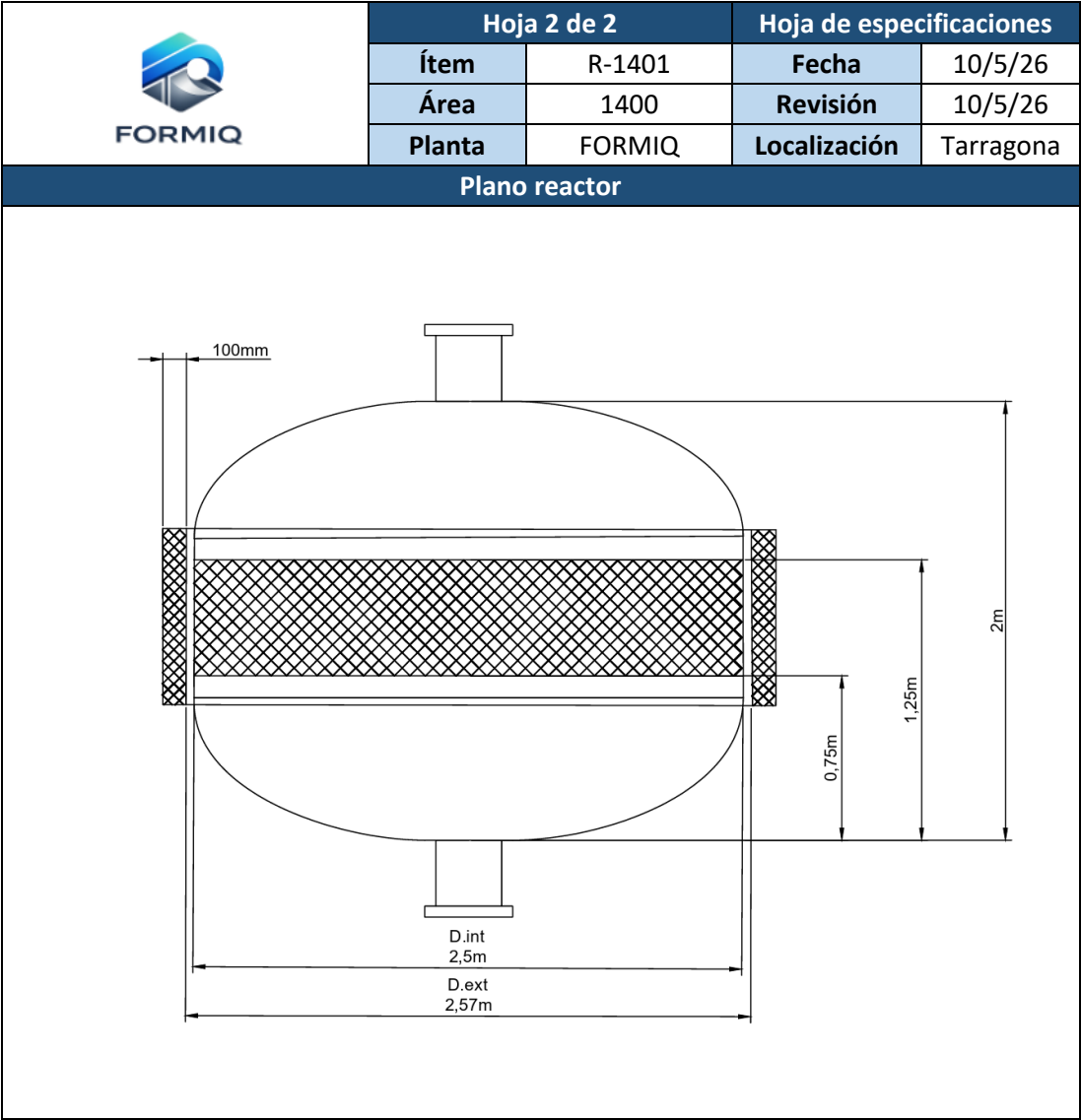
 FORMIQ		Hoja 1 de 3		Hoja de especificaciones	
		Ítem	E-1402	Fecha	12/05/2026
		Área	1400	Revisión	27/05/2026
		Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales					
Denominación		Intercambiador de Calor			
Función del equipo		Calentar los gases de salida del proceso			
Componente principal	Carcasa	Dowtherm A			
	Tubos	CO, O2, N2, Metanol, Formaldehído y H2O			
Número de carcasas		4			
Área (m2)		87,7		Dimensiones (mm)	600
Coste (€)		59.433,64 €		Tipo	BJM
Datos de operación					
		Carcasa		Tubos	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Caudal (kg/h)		48587		31533	
Líquido (kg/h)		0	0	31533	31533
Vapor (kg/h)		48587	48587	0	0
Temperatura (°C)		202	250	300	260
Presión (kPa)		200	184	300	281
Densidad (kg/m3)		1,41	1,18	811,85	853,04
Viscosidad (cP)		0,025	0,0267	0,2033	0,262
Calor específico (kJ/(kg·K))		1,097	1,108	2,114	1,963
Velocidad Media/Máx (m/s)		/19,61		0,95 /1,01	
Calor latente (kJ/kg)		/	/	/	/
Calor intercambiado (kW)		714,1	MTD corregido (°C)		52,59
Coeficiente global (W/(m2·K))	Limpio	159,8			
	Sucio	149,1			
Datos de construcción					
		Carcasa		Tubos	
Material		AISI 316L			
Temperatura de diseño (°C)		285		335	
Presión de diseño (kPa)		300		400	
Nº de pasos		1		4	
Peso del equipo vacío (kg)		1255,8	Peso con agua (kg)		2265,2
Nº de tubos	110	OD (mm)	20	Pitch (mm)	25
Tipo	Plano	Longitud (mm)		3250	
ID Carcasa (mm)	600		OD Carcasa (mm)		610
Nº Baffles	18		Espacio C-C (mm)		185
Tipo Baffle	Triple segmental		Posición		Horizontal
Código de diseño	ASME Code Sec VIII Div 1		Tema Class		R -refinery service





 FORMIQ	Hoja 1 de 1		Hoja de especificaciones	
	Ítem	BL-1401	Fecha	20/05/2026
	Área	1400	Revisión	21/05/2026
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Soplador de aire			
Función del equipo	Captación de aire para el proceso			
Componente principal	O2, N2, CO y metanol			
Fase	Gas			
Coste (€)	408.986,66 €			
Datos de operación				
Temperatura (°C)	202			
Potencia (kW)	622			
Caudal (m3/h)	38700			
Datos de construcción				
Fabricante	AERZEN			
Modelo	Alpha Blower			
Material	AISI 316L			
Caudal máximo (m3/h)	77000			
Caudal mínimo (m3/h)	9600			
Presión máxima (bar(g))	1			
Presión mínima (bar(g))	-0,6			
Esquema				
				

	Hoja 1 de 2		Hoja de especificaciones	
	Ítem	R-1401	Fecha	11/5/26
	Área	1400	Revisión	10/5/26
	Planta	FORMIQ	Localización	Tarragona
Datos generales				
Denominación	Reactor catalítico heterogéneo de lecho fijo			
Función del equipo	Oxidar catalíticamente el metanol, formaldehído y monóxido de carbono.			
Componente principal	Aire, Metanol y Formaldehido			
Condiciones de operación				
Tipo de operación	Continua, gas ascendente a través de un lecho fijo.			
	Entrada		Salida	
Caudal (kg/h)	48587,18		48587,18	
Temperatura de entrada (°C)	250		283	
Presión (bar)	1,807		1,78	
Condiciones del lecho catalítico				
Naturaleza del catalizador	Soporte metálico recubierto de Pt/Pd sobre alúmina.			
Estructura del catalizador	Monolito tipo honeycomb			
Densidad aparente (kg/m3)	600			
Altura del lecho (m)	0,5			
Diámetro del lecho (m)	2,5			
Posición/altura del lecho	Empieza a 0,75 m y termina a 1,25 m.			
Masa de catalizador (kg)	1472,62			
Datos de construcción				
Material	AISI 316L			
Forma	Cilíndrica			
Altura (m)	2			
ID (mm)	2500	OD (mm)		2520
Aislante	Material	Lana mineral industrial		
	Espesor (mm)	100		
Condiciones de diseño				
Presión de diseño (bar)	3,2	Temperatura de diseño (°C)		300
Norma de diseño	ASME VIII Div. 1			
Elementos				
Material elementos	AISI 316L			
	Tipo		Ubicación/Altura (m)	
Difusor de entrada	Campana con plato deflector		0,2	
Soporte del lecho	Rejilla de alta área libre		0,75	
Rejilla retenedora superior	Rejilla de alta área libre		1,25	
Plenum de salida	Cámara de expansión integral		2	



2.6. Bibliografía

- [1] Towler, G., & Sinnott, R. (2021). Chemical engineering design: Principles, practice and economics of plant and process design (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.
- [2] Braz, C. G., Mendes, A., Rocha, J., Alvim, R., & Matos, H. A. (2019). Model of an industrial multitubular reactor for methanol to formaldehyde oxidation in the presence of catalyst deactivation. *Chemical Engineering Science*, 195, 347–360. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.09.033>
- [3] Yang, X., Sun, P., Li, H., Yu, W., Wang, X., & Chen, Y. (2020). Study of the use of a Pd–Pt-based catalyst for the catalytic combustion of storage tank VOCs. *Catalysts*, 10(7), 782. <https://doi.org/10.3390/catal10070782>
- [4] Wang, L., Sakurai, M., & Kameyama, H. (2009). Study of catalytic decomposition of formaldehyde on Pt/TiO₂ alumite catalyst at ambient temperature. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1–3), 399–405.
- [5] Paul, E. L., Atiemo-Obeng, V. A., & Kresta, S. M. (Eds.). (2003). Handbook of industrial mixing: Science and practice. John Wiley & Sons.
- [6] Green, D. W., & Perry, R. H. (2007). Perry's chemical engineers' handbook, eighth edition (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- [7] Atlas Copco. (27 de octubre de 2025). Soplane centrífuga de una etapa ZHA. Recuperado el 25 de mayo de 2026, de <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/products/air-blowers/single-stage-centrifugal-blower-zha>
- [8] Aerzen. (s.f.). Soplane Alpha Blower de grandes dimensiones. Recuperado el 9 de junio de 2026, de <https://www.aerzen.com/es/producto/soplane-alpha-blower-de-grandes-dimensiones-de-aerzen>
- [9] Denair. (s.f.). Compresor de aire Centrífugo. Recuperado el 25 de mayo de 2026, de https://es.denair.net/Centrifugal_Compressor/166.html
- [10] Babcock Wanson. (15 de agosto de 2018). Calderas de fluido térmico EPC-ES. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://www.babcock-wanson.com/es/productos/calderas-de-fluido-termico/epc-es/>
- [11] Gea. (s.f.). Screw compressor chiller for wide application range. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://www.gea.com/es/products/chillers/grasso-fx-p-fx-p-duo-compressor/>
- [12] Mach Cooling. (s.f.). Cómo calcular el agua de reposición para la torre de enfriamiento. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://www.machcooling.com/es/How-To-Calculate-Makeup-Water-for-Cooling-Tower-id48968175.html>
- [13] EWK. (31 de marzo de 2021). Torres de refrigeración de gran caudal EWB. Recuperado el 27 de mayo de 2026, de <https://www.ewk.eu/producto/ewb/>
- [14] Ideagua. (s.f.). Equipo de Ósmosis inversa industrial 10000 litros/hora OI5280. Recuperado el 9 de junio de 2026, de <https://ideagua.com/equipo-de-osmosis-inversa-industrial-10000-litros-hora-oi5280/equipos-industriales/osmosis-industrial/industrial/7886/1474.html>

[15] Babcock Wanson. (19 de septiembre de 2018). Industrial water softening. Recuperado el 9 de junio de 2026, de <https://www.babcock-wanson.com/products/industrial-water-treatment/industrial-water-softening/>