

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Ingeniería de Procesos de una planta de producción de Ácido Nítrico

Autor: David Ortiz Muñoz

Tutor: Aurelio Azaña García

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química

Ingeniería de Procesos de una planta de producción de Ácido Nítrico

Autor:

David Ortiz Muñoz

Tutor:

Aurelio Azaña García

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Pequeña dedicatoria.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer este Trabajo de Fin de Grado a mi familia, ya que sin su apoyo y su esfuerzo no habría sido posible que hubiera llegado hasta aquí.

En segundo lugar, a todos mis amigos/as y Marcita por haberme aguantado en mis momentos de agobios y dolores de cabeza. Gracias a ellos también lograba despejarme, ya sea en Voulezbar o en Lipa, aunque no fuera de manera muy sana.

Del mismo modo quería agradecer a todo el profesorado por las lecciones aprendidas durante esta larga e intensa travesía llamada ingeniería, en especial a mi tutor Aurelio Azaña por darme la oportunidad de realizar este proyecto y aplicar todos mis conocimientos, así como ser el primero en darme la oportunidad para adentrarme al mundo laboral.

Por último, quiero agradecer a Monster, Red Bull, los cafés de las máquinas y al Quini, ya que ellos me daban el empujón para seguir, sobre todo los días antes de los exámenes.

Resumen

Este trabajo consiste en la elaboración de la ingeniería de procesos de una planta de producción de ácido nítrico con una capacidad de 50.000 kg al día.

En primer lugar, se realiza una introducción sobre las materias primas y producto a obtener, con sus respectivas características principales y propiedades. Además, se realiza un análisis de mercado para determinar la ubicación óptima de la planta, con el fin de que en un futuro sea competitiva.

A continuación, se describe el proceso de producción elegido, explicando con gran detalle el proceso y sus condiciones de operación. Además, se realiza un diagrama de flujo de la instalación, así como los respectivos balances de la planta y el dimensionamiento de los equipos.

En último lugar se desarrolla el apartado de mediciones y presupuestos, mediante el cual se estima la inversión de la planta.

Abstract

This Project consists of the development of the process engineering of a nitric acid production plant with a capacity of 50,000 kg/day.

Firstly, an introduction is made to the raw materials and product to be obtained with their respective characteristics, in addition to a market analysis to determine the optimal location for this future plant to be competitive in the sector.

Next, the chosen production process is described, explaining in detail the process and its operating conditions. In addition, a flow diagram of the installation is made, as well as the respective balances of the plant and the sizing of the equipment.

Lastly, the measurements and budgets section are developed, through which the plant investment is estimated.

Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Índice	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
NOTACIÓN	xv
1 Introducción	1
1.1. Objetivos y alcance	1
1.2. Propiedades del ácido nítrico. (Central, 2012)	1
1.3. Aplicaciones del ácido nítrico	2
1.4. Estudio de mercado del ácido nítrico. (Intelligence, s.f.)	3
1.4.1 Exportación del producto	4
1.4.2 Importación del producto	7
1.5. Procesos de fabricación. (Piñón) y (Central, 2012).	11
1.6. Propiedades de la materia prima. (PRTR, s.f.) y (Dorado, 2022)	12
1.7. Aplicaciones de la materia prima. (Dorado, 2022)	13
1.8. Estudio de mercado de la materia prima	13
1.8.1 Exportaciones de la materia prima	13
1.8.2 Importaciones de la materia prima	16
1.9. Fundamentos del proceso de producción (Central, 2012)	18
1.10. Condiciones de operación (Central, 2012)	19
1.10.1 Temperatura	19
1.10.2 Presión	21
1.10.3 Catalizador	2
1.10.4 Agua de proceso	2
2 Memoria descriptiva y justificativa	32
2.1. Introducción	32
2.2. Diagrama de flujos de la planta (PFD)	35
2.3. Lista de líneas	38
3 Memoria de cálculo	43
3.1. Introducción	43
3.2. Balance de materia	43
3.3. Balance de energía	53
3.3.1 Reactor	55
3.3.2 Equipos de transferencia de calor. (Velázquez)	55

3.3.3	Equipos de separación (Fernández)	56
3.4.	<i>Simulación de la planta de ácido nítrico</i>	57
3.4.1.	Tramo 1	60
3.4.2.	Tramo 2	60
3.4.3.	Tramo 3	62
3.4.4.	Tramo 4	63
3.4.5.	Tramo 5	65
3.4.6.	Tramo 6	66
3.4.7.	Tramo 7	67
3.4.8.	Tramo 8	68
3.4.9.	Tramo 9	70
3.4.10.	Tramo 10	71
3.4.11.	Tramo 11	72
3.4.12.	Tramo 12	73
3.4.13.	Tramo 13	74
3.4.14.	Tramo 14	76
3.4.15.	Tramo 15	77
3.4.16.	Tramo 16	78
3.4.17.	Tramo 17	79
3.5.	<i>Lista de equipos</i>	81
3.6.	<i>Dimensionamiento de equipos</i>	82
3.6.1.	Tanques	82
3.6.2.	Intercambiadores de calor. (Velázquez)	84
3.6.3.	Reactor	134
3.6.4.	Mezclador	135
3.6.5.	Equipos de separación	136
3.6.6.	Filtros	137
3.6.7.	Compresores. (Villanueva)	139
3.6.8.	Bombas (Cañada)	141
4	Mediciones y precios. Presupuesto	147
4.1.	<i>Introducción</i>	147
4.2.	<i>Costes de equipos (Portillo)</i>	147
4.2.1.	Correlaciones generales de costes empleadas	147
4.2.2.	Mediciones y precios totales de cada equipo	149
4.3.	<i>Coste inicial de inversión de la planta</i>	151
5	Hojas de especificaciones	155
5.1.	<i>Intercambiadores</i>	155
5.2.	<i>Compresores</i>	185
5.3.	<i>Filtros</i>	193
5.4.	<i>Tanques</i>	201
5.5.	<i>Bombas</i>	207
5.6.	<i>Mezclador</i>	219
5.7.	<i>Columnas</i>	222
5.8.	<i>Reactor</i>	230
6	Análisis de seguridad	234
7	Gestión de residuos	242
8	Ficha de seguridad. (Fisher, s.f.)	245
8.1.	<i>Identificación de la sustancia</i>	245
8.1.1	Identificador del producto y usos pertinentes	245

8.2. <i>Identificación de los peligros</i>	245
8.2.1 Clasificación de la sustancia	245
8.2.2 Elementos de la etiqueta	245
8.3. <i>Primeros auxilios</i>	246
8.3.1 Descripción de los primeros auxilios	246
8.3.2 Principales síntomas y efectos (agudos y retardados)	246
8.3.3 Indicación para el médico	247
8.4. <i>Medidas de lucha contra incendios</i>	247
8.4.1 Medios de extinción	247
8.4.2 Peligros específicos derivados del producto	247
8.4.3 Recomendaciones para bomberos y seguridad	247
8.5. <i>Medidas en caso de vertido vertical</i>	247
8.5.1 Precauciones del personal, equipos de protección y procedimiento de emergencia	247
8.5.2 Precauciones relativas al medio ambiente	247
8.5.3 Métodos y material de contención y limpieza	248
8.6. <i>Manipulación y almacenamiento</i>	248
8.6.1 Cuidados para manipulación segura	248
8.6.2 Condiciones de almacenamiento seguro	248
8.6.3 Empleo específico final	248
8.7. <i>Controles de exposición/protección individual</i>	248
8.7.1 Límites de exposición	248
8.7.2 Límites biológicos	249
8.7.3 Control de la exposición	249
8.8. <i>Estabilidad y reactividad</i>	249
8.9. <i>Información toxicológica</i>	250
8.9.1 Información sobre la clase de peligro definidas en el Reglamento (CE) Nº. 1272/2008	250
8.9.2 Información sobre otros peligros	251
8.10. <i>Información ecológica</i>	251
8.10.1 Movilidad en el suelo	251
8.10.2 Resultados de la valoración PBT y mPmB	251
8.10.3 Propiedades de alteración endocrina	251
8.10.4 Otros efectos adversos	251
8.11. <i>Consideraciones relativas a la eliminación</i>	252
8.11.1 Métodos para el tratamiento de residuos	252
8.12. <i>Información relativa al transporte</i>	252
8.12.1 IMDG/IMO	252
8.12.2 ADR	252
8.12.3 IATA	252
9 Bibliografía	254
10 ANEXO	256

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características principales del ácido nítrico. (Central, 2012).	2
Tabla 2 Principales países exportadores. (Centre, s.f.).	4
Tabla 3 Exportaciones totales por año de ácido nítrico. Fuente Propia.	5
Tabla 4 Crecimiento del valor exportado en los principales países. (Centre, s.f.)	7
Tabla 5 Principales países importadores. (Centre, s.f.).	8
Tabla 6 Importaciones totales por año de ácido nítrico. Fuente Propia.	9
Tabla 7 Crecimiento del valor importado en los principales países. (Centre, s.f.).	10
Tabla 8 Propiedades principales del amoniaco. (PRTR, s.f.) y (Central, 2012).	12
Tabla 9 Principales países exportados. (Centre, s.f.).	14
Tabla 10 Exportaciones totales por año de amoniaco. Fuente Propia.	14
Tabla 11 Principales países importados. (Centre, s.f.).	16
Tabla 12 Importaciones totales por año de amoniaco. Fuente Propia.	17
Tabla 13 Evolución de la temperatura. Fuente Propia.	20
Tabla 14 Evolución de la presión. Fuente Propia.	1
Tabla 15 Lista de líneas de la planta de ácido nítrico. Fuente Propia.	39
Tabla 16 Datos de partida. Fuente Propia.	43
Tabla 17 Composición del aire.	44
Tabla 18 Rendimiento de los equipos de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.	44
Tabla 19 Suposiciones para la elaboración de los cálculos. Fuente Propia.	45
Tabla 20 Balance de materia (BM) de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.	46
Tabla 21 Balance de composición (%) de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.	50
Tabla 22 Transferencia de calor en los intercambiadores de calor. Fuente Propia.	56
Tabla 23 Transferencia de calor en los equipos de separación. Fuente Propia.	57
Tabla 24 Simulación de la planta del tramo 1. Fuente Propia.	60
Tabla 25 Simulación de la planta del tramo 2. Fuente Propia.	61
Tabla 26 Simulación de la planta del tramo 3. Fuente Propia.	62
Tabla 27 Simulación de la planta del tramo 4. Fuente Propia.	64
Tabla 28 Simulación de la planta del tramo 5. Fuente Propia.	65
Tabla 29 Simulación de la planta del tramo 6. Fuente Propia.	66
Tabla 30 Simulación de la planta del tramo 7. Fuente Propia.	68
Tabla 31 Simulación de la planta del tramo 8. Fuente Propia.	69
Tabla 32 Simulación de la planta del tramo 9. Fuente Propia.	70
Tabla 33 Simulación de la planta del tramo 10. Fuente Propia.	71
Tabla 34 Simulación de la planta del tramo 11. Fuente Propia.	72
Tabla 35 Simulación de la planta del tramo 12. Fuente Propia.	74
Tabla 36 Simulación de la planta del tramo 13. Fuente Propia.	75
Tabla 37 Simulación de la planta del tramo 14. Fuente Propia.	76
Tabla 38 Simulación de la planta del tramo 15. Fuente Propia.	77
Tabla 39 Simulación de la planta del tramo 16. Fuente Propia.	78
Tabla 40 Simulación de la planta del tramo 17. Fuente Propia.	79
Tabla 41 Lista de equipos principales. Fuente Propia.	81
Tabla 42 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	89
Tabla 43 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	91
Tabla 44 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	96
Tabla 45 Correlación a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	98
Tabla 46 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	103
Tabla 47 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	105
Tabla 48 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	110
Tabla 49 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	112
Tabla 50 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	117

Tabla 51 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	119
Tabla 52 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	124
Tabla 53 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	126
Tabla 54 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	131
Tabla 55 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	133
Tabla 56 Parámetros K_i característicos de cada equipo. Fuente Propia.	147
Tabla 57 Parámetros característicos de cada equipo. Fuente Propia.	148
Tabla 58 Parámetros C_i característicos de cada equipo. Fuente Propia.	148
Tabla 59 Correlaciones de coste para cada equipo. Fuente Propia.	148
Tabla 60 Coste base de los equipos principales Fuente Propia.	150
Tabla 61 Coste base de los equipos secundarios. Fuente Propia.	151
Tabla 62 Consideraciones del método Chilton. (Portillo).	152
Tabla 63 Coste total de la implantación. Fuente Propia.	154
Tabla 64 Análisis de seguridad (HAZOP) de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.	235
Tabla 65 Tabla resumen de riesgos. Fuente Propia.	241
Tabla 66 Catálogo de residuos. Fuente Propia.	242
Tabla 67 Límite de exposición profesional para agentes químicos en España (1999).	248
Tabla 68 Material de protección en los guantes.	249
Tabla 69 Estabilidad y reactividad del producto.	249
Tabla 70 Toxicidad del producto.	250
Tabla 71 Bioconcentración del ácido nítrico.	251

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación gráfica de los principales usos del HNO_3 . Fuente Propia.	2
Figura 2 Aplicaciones del HNO_3 .	3
Figura 3 Evolución de las exportaciones de HNO_3 . Fuente Propia.	4
Figura 4 Evolución de las exportaciones totales del producto. Fuente Propia.	5
Figura 5 Países exportadores de ácido nítrico en todo el mundo. (Centre, s.f.).	6
Figura 6 Países europeos exportadores de ácido nítrico. (Centre, s.f.).	6
Figura 7 Crecimiento del valor exportado. Fuente Propia.	7
Figura 8 Evolución de las importaciones de HNO_3 . Fuente Propia.	8
Figura 9 Evolución de las importaciones totales del producto. Fuente Propia.	9
Figura 10 Países importadores de ácido nítrico en todo el mundo. (Centre, s.f.).	9
Figura 11 Países europeos importadores de ácido nítrico. (Centre, s.f.).	10
Figura 12 Crecimiento del valor importado. Fuente Propia.	11
Figura 13 Esquema molecular del amoníaco. (Dorado, 2022).	12
Figura 14 Materias primas y aplicaciones del amoníaco. (Dorado, 2022).	13
Figura 15 Evolución de las exportaciones de NH_3 . Fuente Propia.	14
Figura 16 Evolución de las exportaciones totales del amoníaco. Fuente Propia.	15
Figura 17 Países exportadores de amoníaco en todo el mundo. (Centre, s.f.).	15
Figura 18 Países europeos exportadores de amoníaco. (Centre, s.f.).	16
Figura 19 Evolución de las exportaciones de NH_3 . Fuente Propia.	17
Figura 20 Evolución de las importaciones totales del amoníaco. Fuente Propia.	17
Figura 21 Países importadores de amoníaco en todo el mundo. (Centre, s.f.).	18
Figura 22 Países europeos importadores de amoníaco. (Centre, s.f.).	18
Figura 23 Reacciones que tienen lugar en el proceso Ostwald. (Central, 2012).	19
Figura 24 Evolución de la temperatura a lo largo de la planta. Fuente Propia.	21
Figura 25 Evolución de la presión a lo largo de la planta. Fuente Propia.	2
Figura 26 Diagrama de bloque de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.	35
Figura 27 PFD de la planta con las corrientes detalladas. Fuente propia.	36
Figura 28 PFD de la planta. Fuente propia.	37
Figura 29 Simulación de la planta con las corrientes detalladas.	58
Figura 30 Simulación de la planta.	59
Figura 31 Representación del tramo 1. Fuente Propia.	60
Figura 32 Representación del tramo 2. Fuente Propia.	61
Figura 33 Representación del tramo 3. Fuente Propia.	62
Figura 34 Representación del tramo 4. Fuente Propia.	63
Figura 35 Representación del tramo 5. Fuente Propia.	65
Figura 36 Representación del tramo 6. Fuente Propia.	66
Figura 37 Representación del tramo 7. Fuente Propia.	67
Figura 38 Representación del tramo 8. Fuente Propia.	69
Figura 39 Representación del tramo 9. Fuente Propia.	70
Figura 40 Representación del tramo 10. Fuente Propia.	71
Figura 41 Representación del tramo 11. Fuente Propia.	72
Figura 42 Representación del tramo 12. Fuente Propia.	74
Figura 43 Representación del tramo 13. Fuente Propia.	75
Figura 44 Representación del tramo 14. Fuente Propia.	76
Figura 45 Representación del tramo 15. Fuente Propia.	77
Figura 46 Representación del tramo 16. Fuente Propia.	78
Figura 47 Representación del tramo 17. Fuente Propia.	79
Figura 48 DTLM del intercambiador E 01. Fuente Propia.	85
Figura 49 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	87
Figura 50 DTLM del intercambiador E 02. Fuente Propia.	92

Figura 51 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	94
Figura 52 DTLM del intercambiador E 03. Fuente Propia.	100
Figura 53 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	101
Figura 54 DTLM del intercambiador E 04. Fuente Propia.	107
Figura 55 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	108
Figura 56 DTLM del intercambiador E 05. Fuente Propia.	114
Figura 57 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	115
Figura 58 DTLM del condensador E 07. Fuente Propia.	121
Figura 59 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	122
Figura 60 DTLM del intercambiador E 08. Fuente Propia.	128
Figura 61 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).	129
Figura 62 Representación gráfica del HAZOP de la planta. Fuente Propia.	241
Figura 63 Simbología en la etiqueta del producto.	245
Figura 64 Resultados obtenidos en el EES. Fuente Propia.	306
Figura 65 Resultados obtenidos en el EES.	307
Figura 66 Resultados obtenidos en el EES.	308
Figura 67 Resultados obtenidos en el EES.	309
Figura 68 Resultados obtenidos en el EES.	310

NOTACIÓN

A^*	Conjugado.
c.t.p.	En casi todos los puntos.
c.q.d.	Como queríamos demostrar.
■	Como queríamos demostrar.
e.o.c.	En cualquier otro caso.
E	número e.
Ire	Parte real.
Im	Parte imaginaria.
Sen	Función seno.
Tg	Función tangente.
Arctg	Función arco tangente.
Sen	Función seno.
$\sin^x y$	Función seno de x elevado a y .
$\cos^x y$	Función coseno de x elevado a y .
Sa	Función sampling.
Sgn	Función signo.
Rect	Función rectángulo.
Sinc	Función sinc.
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto.
x°	Notación de grado, x grados.
$\Pr(A)$	Probabilidad del suceso A .
SNR	Signal-to-noise ratio.
MSE	Minimum square error.
:	Tal que.
<	Menor o igual.
>	Mayor o igual.
\	Backslash.
$\Leftrightarrow$	Si y sólo si.

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos y alcance

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como finalidad la elaboración de una ingeniería de procesos de una planta de ácido nítrico (HNO_3). Para el desarrollo de este proyecto se ha realizado un estudio minucioso de las diferentes vías de producción de HNO_3 , teniendo en cuenta el rendimiento de cada proceso, los criterios de diseños y las condiciones de operación, para posteriormente valorar cual es la mejor opción técnico-económica.

Debido a las condiciones actuales del mercado y con el fin de ser competitivos en el ámbito nacional e internacional, el objetivo del proyecto es la producción de ácido nítrico con una concentración del 60 %, producto que se emplea principalmente para la producción de fertilizantes.

Además, el mercado del ácido nítrico está incrementando debido a su uso principal como fertilizante, el cual maximiza los rendimientos de los cultivos y que, por lo tanto, lo constituye como un compuesto fundamental para la población.

Una vez definido el objetivo del presente proyecto (HNO_3 con una concentración del 60 %), se ha procedido a la búsqueda de información relevante y de fuentes de información referentes en el sector con el fin de adecuar el proceso a las condiciones óptimas (estado del arte).

Tras dicho estudio minucioso se ha establecido las condiciones de operación, los factores limitantes que afectan al proceso, el diagrama de flujo, balance de materia y energía de la planta, con el fin de realizar posteriormente la simulación de la misma.

Debido a la solidez de los resultados mostrados, se ha realizado un ejercicio de dimensionamiento de equipos con el fin de determinar la viabilidad del proyecto.

Por otro lado, debido a los fluidos presentes en la planta y a la peligrosidad de estos, se ha elaborado un HAZOP y un sistema de gestión de residuos, con el fin de controlar, ser consciente de la peligrosidad de estas operaciones, intentar reducir los riesgos de la planta y prevalecer la seguridad del personal y del entorno de trabajo en dicha implementación.

1.2. Propiedades del ácido nítrico. (Central, 2012)

El ácido nítrico es uno de los compuestos inorgánicos más importante. Este se caracteriza por ser un ácido fuerte, incoloro y oxidante. Además, este compuesto presenta una alta solubilidad en el agua y en cualquier proporción. El HNO_3 a temperatura ambiente emite vapores visibles (fumante), presentando un olor intenso sofocante, y muy tóxico por inhalación. Es corrosivo para metales y tejidos, además de que una exposición prolongada a bajas concentraciones, o la exposición a corto plazo a altas concentraciones, puede provocar efectos severos en la salud.

A continuación, se muestra las principales características de este producto.

Tabla 1 Características principales del ácido nítrico. (Central, 2012).

Propiedades	Información
Fórmula molecular	HNO ₃
Apariencia	De incoloro a líquido amarillo
Olor	Olor acre
pH (sin dilución)	<1
Punto de congelación	Entre -17 °C (20 %) a -22 °C (60 %)
Punto de ebullición	Entre 103,4 °C (20 %) a 120,4 °C (60 %)
Presión de vapor	0,77 kPa a 20 °C (60 %)
Densidad de vapor relativa	2 aproximadamente (aire=1)
Solubilidad en agua	Miscible en todas las proporciones
Densidad a 20 °C	1,1150 g/cm ₃ (20 %); 1,3667 g/cm ₃ (60 %)
Azeótropo	Con agua al 68,4 %
Peso molecular	63,013 g/mol

1.3. Aplicaciones del ácido nítrico

El ácido nítrico es un compuesto muy polivalente en el mundo de la industria, destacando sobre todo en los siguientes sectores:

- Fertilizantes: El 70-80 % de la producción mundial de ácido nítrico se emplea para ello.
- Ácido adípico (Nylon): Entre el 5-10 % de la producción mundial del ácido nítrico.
- Otros: Entre el 10-20 % de la producción mundial del ácido nítrico se emplea en metalurgia, explosivos y fotograbos.

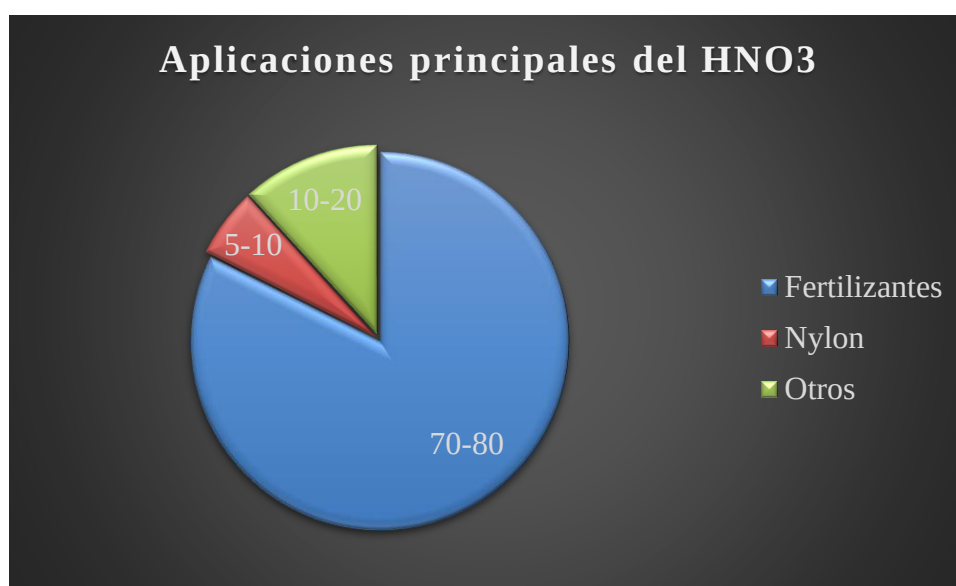


Figura 1 Representación gráfica de los principales usos del HNO₃. Fuente Propia.

A continuación, se muestra un esquema en el que se recoge de manera amplia y desglosada la multitud de empleos de este producto.

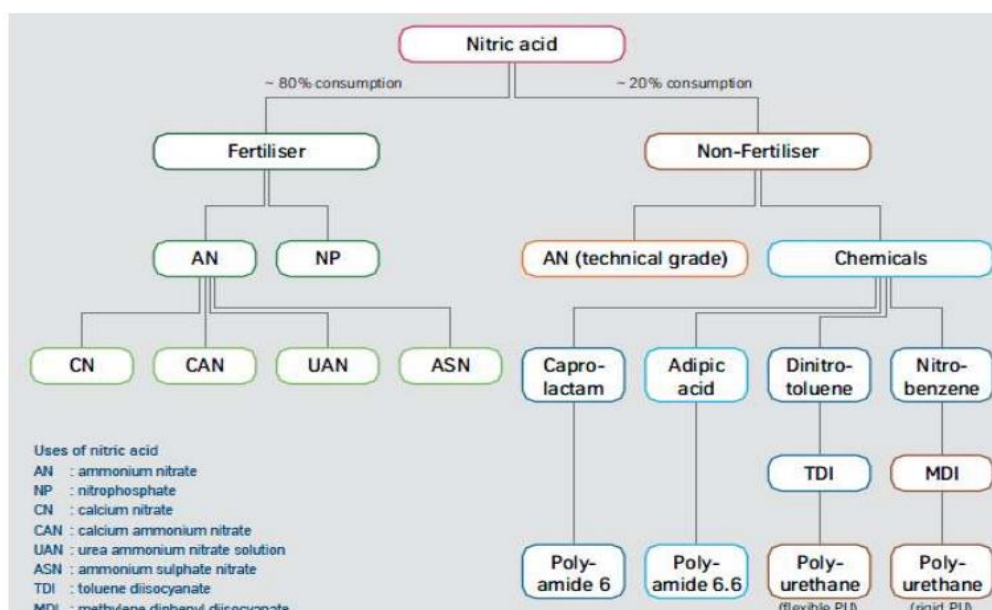


Figura 2 Aplicaciones del HNO₃.

1.4. Estudio de mercado del ácido nítrico. (Intelligence, s.f.)

El ácido nítrico es uno de los productos más atractivos en el ámbito industrial. Entre sus aplicaciones principales cabe destacar su uso como fertilizante, producto que provee a la tierra los nutrientes necesarios para mejorar el rendimiento de los cultivos, permitiendo obtener una mayor producción agrícola.

El mercado del HNO₃ está segmentado por la industria del usuario final (aeroespacial, pigmentos y tintes, fabricación de productos químicos, etc.) y la geografía.

Se puede observar como a lo largo de los años se ha producido un crecimiento en el mercado de este producto. Las razones de este crecimiento se deben a:

- Más del 80 % del HNO₃ se utiliza en la fabricación de fertilizantes: Para satisfacer las necesidades de la creciente demanda mundial de alimentos se requiere más tierra cultivable y con buenas cualidades, con el fin de aumentar la productividad de los cultivos. Debido a este motivo, la demanda de fertilizantes está aumentando, y se espera que la industria mundial de fertilizantes experimente una Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (CAGR) de alrededor del 5 % en los próximos años.
- Según la Asociación Internacional de Fertilizantes (IAF), la demanda mundial de fertilizantes representó alrededor de 189,9 millones de toneladas métricas en el año fiscal 2019.
- Según Fertilizers Europe, el volumen de fertilizantes en base de nitrógeno utilizados con fines agrícolas representó 11,5 millones de toneladas en 2019.

La constante demanda de este producto, así como sus aportaciones principalmente a la agricultura, aunque también a otros sectores industriales mencionados anteriormente, reflejan el incremento de exportaciones e importaciones que experimenta el HNO₃.

1.4.1 Exportación del producto

A continuación, se muestra una tabla donde se refleja la evolución de las exportaciones a lo largo de los últimos años con respecto a los principales países exportadores del producto.

Tabla 2 Principales países exportadores. (Centre, s.f.).

Exportadores	Valor Exportado en 2018	Valor Exportado en 2019	Valor Exportado en 2020	Valor Exportado en 2021	Valor Exportado en 2022
Bélgica	39176	42445	39607	67716	160244
Corea	62116	64148	64563	90588	138109
Alemania	24581	33645	25618	43168	111805
Noruega	8402	8875	6677	11823	20657
España	5213	4946	2715	1405	1979
Estados Unidos	15998	10204	9164	10826	19935
Portugal	6667	5926	6827	8344	16742
República Checa	8267	5308	7662	8678	12117
China	11326	10619	5593	6998	11909
Francia	13279	10428	8655	8276	11610

Con los datos mostrados en la Tabla 2, se puede obtener una gráfica comparativa de la evolución del número de exportaciones de HNO_3 a lo largo de los últimos años frente a los principales países exportadores.



Figura 3 Evolución de las exportaciones de HNO_3 . Fuente Propia.

Con el fin de mostrar la evolución de las exportaciones totales a lo largo de estos últimos años referente a dichos países, se muestra la siguiente tabla.

Tabla 3 Exportaciones totales por año de ácido nítrico. Fuente Propia.

	Valor Exportado en 2018	Valor Exportado en 2019	Valor Exportado en 2020	Valor Exportado en 2021	Valor Exportado en 2022
Total	260946	257160	225916	324736	601492

Estos datos muestran como las exportaciones del producto han incrementado a lo largo de los últimos años y demuestran como es uno de los productos principales en el ámbito industrial. A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar la tendencia de crecimiento de las exportaciones de HNO_3 en los últimos años.



Figura 4 Evolución de las exportaciones totales del producto. Fuente Propia.

En sintonía con lo anteriormente mostrado, el ITC (Internacional Trade Centre), muestra un mapa del mundo donde se puede observar los valores de ácido nítrico exportados por cada país.

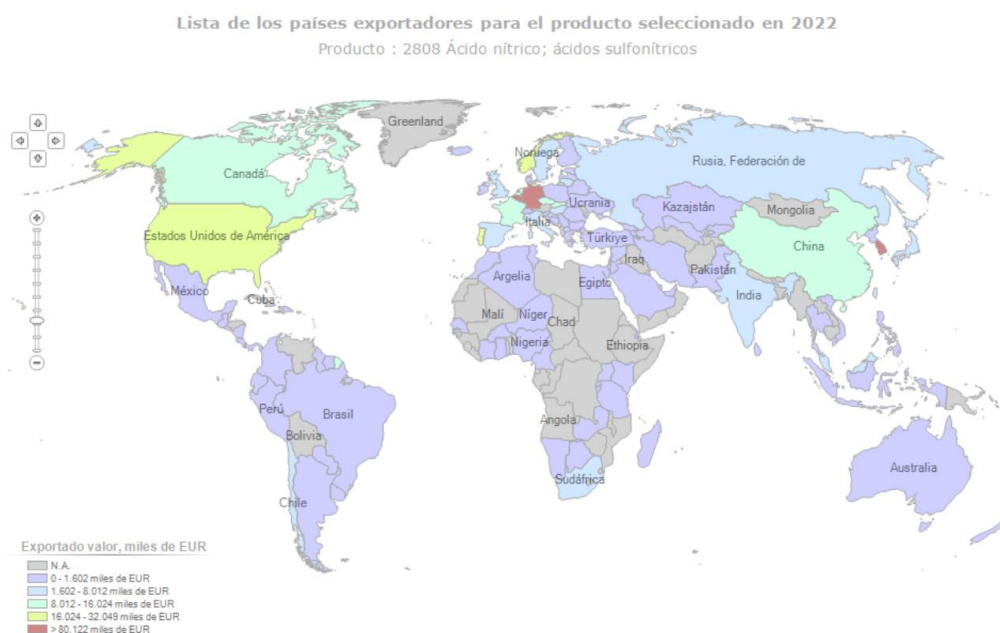


Figura 5 Países exportadores de ácido nítrico en todo el mundo. (Centre, s.f.).

Haciendo especialmente hincapié en Europa, se muestran los valores de HNO_3 en la siguiente figura.

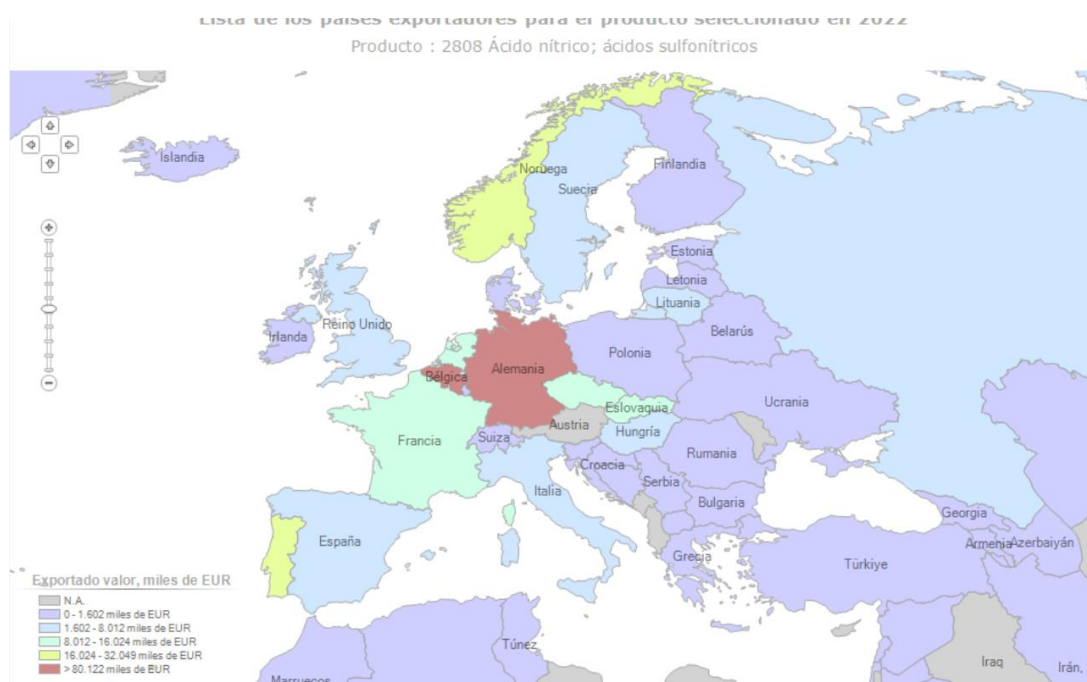


Figura 6 Países europeos exportadores de ácido nítrico. (Centre, s.f.).

En consonancia con lo mostrado anteriormente en la Tabla 2, se muestra el crecimiento del valor exportado a lo largo del tiempo para los diferentes países.

Tabla 4 Crecimiento del valor exportado en los principales países. (Centre, s.f.)

Exportadores	Crecimiento del valor exportado 2018	Crecimiento del valor exportado 2019	Crecimiento del valor exportado 2020	Crecimiento del valor exportado 2021	Crecimiento del valor exportado 2022
Bélgica	15%	17%	18%	21%	27%
Corea	24%	25%	29%	28%	23%
Alemania	9%	13%	11%	13%	19%
Noruega	3%	3%	3%	4%	3%
España	2%	2%	1%	0%	0%
Estados Unidos	6%	4%	4%	3%	3%
Portugal	3%	2%	3%	3%	3%
República Checa	3%	2%	3%	3%	2%
China	4%	4%	2%	2%	2%
Francia	5%	4%	4%	3%	2%

Se ha de recalcar que el crecimiento de Bélgica en el año 2022 es bastante notorio, aumentando el valor de crecimiento exportado en un 27 %. En el caso de España, se observa como el crecimiento exportado es del 0 %, siendo un sector prometedor en el que las empresas pueden desarrollar y experimentar un mayor crecimiento obteniendo un aumento de sus ingresos.



Figura 7 Crecimiento del valor exportado. Fuente Propia.

1.4.2 Importación del producto

En la misma sintonía que las exportaciones, las importaciones del HNO_3 han aumentado en estos últimos años. A continuación, en la Tabla 5 se refleja la evolución de las importaciones a lo largo de los últimos años con respecto a los principales países importadores del producto.

Tabla 5 Principales países importadores. (Centre, s.f.).

Importadores	Valor Importado en 2018	Valor Importado en 2019	Valor Importado en 2020	Valor Importado en 2021	Valor Importado en 2022
Alemania	19529	22354	20262	41215	93855
Francia	15983	20847	16344	28974	64189
Japón	14957	12092	19955	33479	52215
Bélgica	23456	28119	20748	36451	44437
España	8562	8342	7550	13970	21719
China	17034	31386	20600	19739	23754
India	4999	5218	3516	7014	15500
Italia	4645	3585	4000	4918	11577
Marruecos	4734	4264	5975	4918	11271
Suiza	2961	4114	3625	4951	9833

De los datos mostrados en la Tabla 5, se puede obtener una gráfica comparativa de la evolución del número de importaciones del HNO_3 a lo largo de los últimos años frente a los principales países importadores.

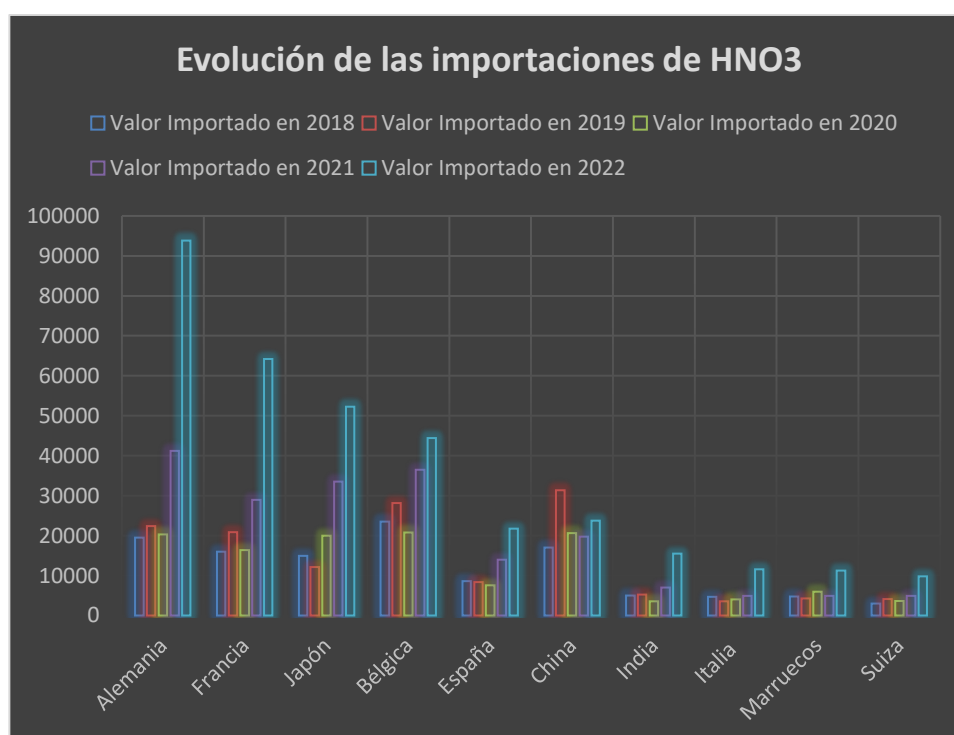


Figura 8 Evolución de las importaciones de HNO_3 . Fuente Propia.

Con el fin de presentar un mayor detalle de la evolución de las importaciones totales de HNO_3 referente a dichos países, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 6 Importaciones totales por año de ácido nítrico. Fuente Propia.

	Valor Importado en 2018	Valor Importado en 2019	Valor Importado en 2020	Valor Importado en 2021	Valor Importado en 2022
Total	290134	318015	277643	390478	647591

Estos datos muestran como las importaciones del producto han incrementado a lo largo de los últimos años (exceptuando en 2020, debido a la crisis sanitaria causada por el Covid-19). A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar la tendencia de crecimiento de las importaciones de HNO₃ en los últimos años.

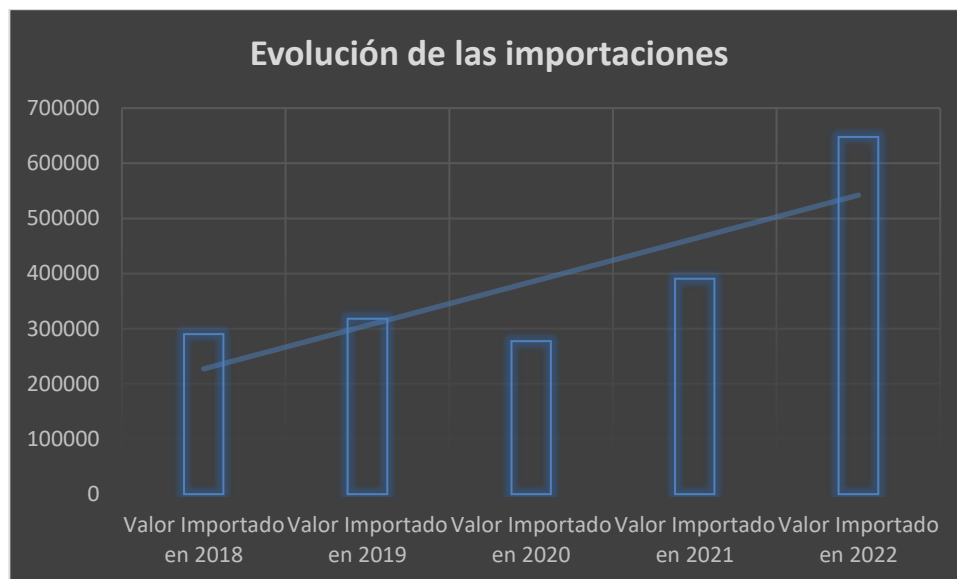


Figura 9 Evolución de las importaciones totales del producto. Fuente Propia.

En sintonía con lo anteriormente mostrado, el ITC (International Trade Centre) muestra un mapa del mundo donde se puede observar los valores de HNO₃ importados por cada país.

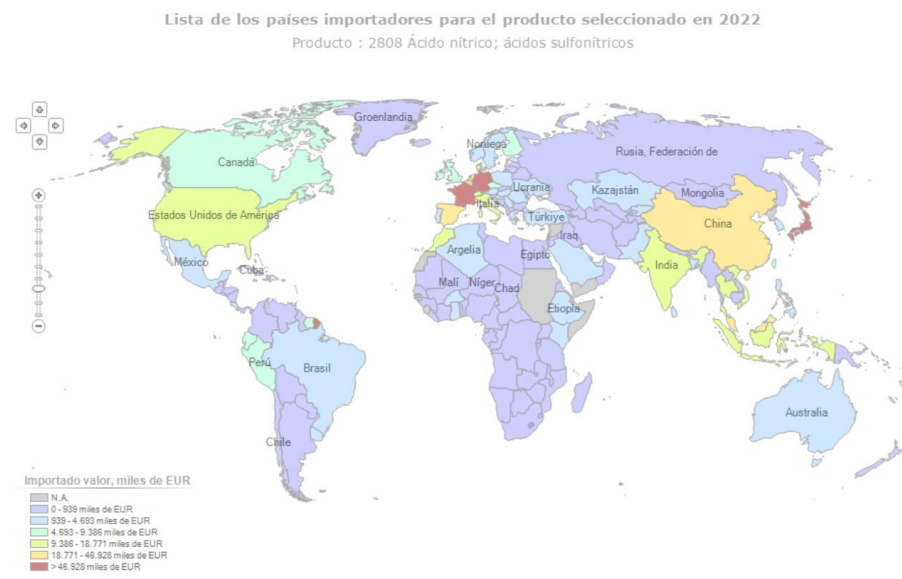


Figura 10 Países importadores de ácido nítrico en todo el mundo. (Centre, s.f.).

Haciendo especialmente hincapié en Europa, se muestran los valores de HNO₃ en la siguiente figura.

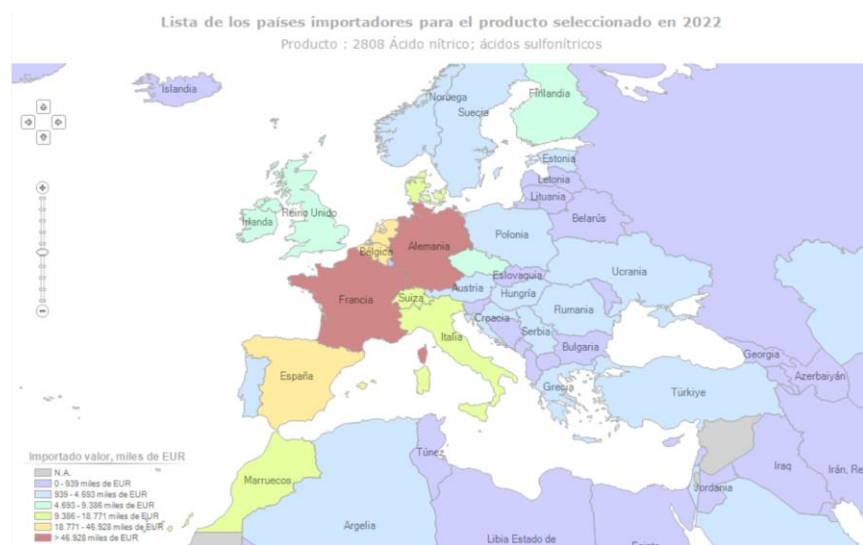


Figura 11 Países europeos importadores de ácido nítrico. (Centre, s.f.).

En consonancia con lo mostrado anteriormente en la Tabla 5, se muestra el crecimiento del valor importado a lo largo del tiempo para los diferentes países.

Tabla 7 Crecimiento del valor importado en los principales países. (Centre, s.f.).

Importadores	Crecimiento del valor importado 2018	Crecimiento del valor importado 2019	Crecimiento del valor importado 2020	Crecimiento del valor importado 2021	Crecimiento del valor importado 2022
Alemania	7%	7%	7%	11%	14%
Francia	6%	7%	6%	7%	10%
Japón	5%	4%	7%	9%	8%
Bélgica	8%	9%	7%	9%	7%
España	3%	3%	3%	4%	3%
China	6%	10%	7%	5%	4%
India	2%	2%	1%	2%	2%
Italia	2%	1%	1%	1%	2%
Marruecos	2%	1%	2%	1%	2%
Suiza	1%	1%	1%	1%	2%

Estos datos muestran como Alemania se ha consolidado como uno de los grandes importadores de este producto, experimentando un crecimiento del 14 %. Por otro lado, con un valor positivo, España ha experimentado un crecimiento de las importaciones de HNO₃ de un 3 %.

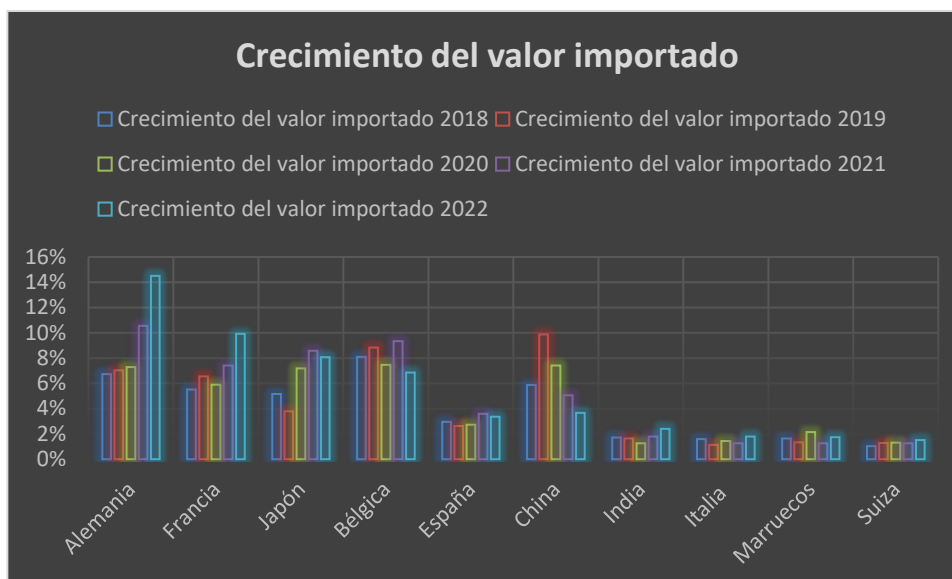


Figura 12 Crecimiento del valor importado. Fuente Propia.

1.5. Procesos de fabricación. (Piñón) y (Central, 2012).

Existen varios métodos para obtener ácido nítrico. A continuación, se muestran los procesos más relevantes para su obtención.

- **Procedimiento de Ostwald:** Este procedimiento consiste en el empleo de amoníaco y aire como materia prima con el fin de obtener como producto ácido nítrico. El amoníaco se oxida con el aire y se genera una corriente gaseosa que contiene los óxidos de nitrógeno y vapor de agua, el cual se elimina por un enfriamiento rápido. Para obtener ácido nítrico concentrado se emplea una columna de absorción que permite absorber los óxidos en el ácido nítrico, que luego reacciona con ácido débil o enriquece el ácido nítrico azeotrópico con los óxidos hasta producir una concentración mayor que la azeotrópica. Posteriormente, se puede realizar una destilación en la que se obtendrá el azeotrópico y el concentrado.
- **Destilación extractiva:** Este método emplea una columna de deshidratación y su funcionalidad se basa en el aprovechamiento de la afinidad entre el agua y ácido sulfúrico sobre nitrato de sodio o nitrato de magnesio.
- **Arco eléctrico:** Este método no es tan conocido como los dos anteriores. En este caso se emplea un arco eléctrico que permite la síntesis directa por la combinación de nitrógeno y oxígeno atmosférico.

1.6. Propiedades de la materia prima. (PRTR, s.f.) y (Dorado, 2022)

El amoníaco (NH_3) es una sustancia alcalina, incolora y con un fuerte olor, esta se emplea como materia prima para la producción de ácido nítrico y es soluble en agua. Además, se caracteriza por ser volátil, y en solución acuosa se comporta alcalinamente. Se caracteriza por ser fácilmente biodegradable, ya que contribuye a la nutrición de organismos terrestres, siendo fácilmente asimilado por las plantas.

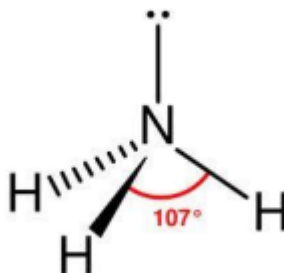


Figura 13 Esquema molecular del amoníaco. (Dorado, 2022).

Se disipa fácilmente en la atmósfera debido a que su densidad es menor que la del aire, lo cual minimiza las probabilidades de explosión y riesgo de incendio en caso de fuga.

Esta sustancia es muy delicada para la vida humana, ya que su toxicidad es hasta 3 veces mayor que la de otros combustibles como metanol o gasolina. Una concentración de 300 ppm es suficiente para atentar contra la salud del ser humano.

El amoníaco presenta un rango estrecho de inflamabilidad (15-27 %) en lo que a concentración se refiere, debido a que se encuentra tanto para aire seco como húmedo. Esto presenta ventajas en su almacenamiento, ya que se trata de amoníaco 100 % puro, y para esta concentración no es inflamable.

A continuación, se presenta una tabla con las propiedades y características a destacar.

Tabla 8 Propiedades principales del amoníaco. (PRTR, s.f.) y (Central, 2012).

Propiedades	Información
Fórmula molecular	NH_3
Apariencia	Incoloro
Olor	Olor muy penetrante
Temperatura de autoignición	651 °C
Punto de fusión	-78 °C
Punto de ebullición	-33 °C
Presión de vapor	1013 kPa a 26 °C
Densidad de vapor relativa	0,59 aproximadamente (aire=1)
Solubilidad en agua	Buena (34 g/100 mL a 20 °C)
Densidad relativa del gas	0,59(g/mL)
Densidad relativa del líquido	0,68 (g/mL)
Base	Fuerte
Peso molecular	17,03 g/mol

1.7. Aplicaciones de la materia prima. (Dorado, 2022)

El amoniaco principalmente se emplea para la fabricación de fertilizantes. Además, esta materia prima se emplea para la fabricación de explosivos a partir del ácido nítrico. Asimismo, se utiliza para la obtención de tintes para textiles, desarrollo de materiales como nylon, refrigerantes, desarrollo de productos farmacéuticos y cosméticos, detergentes.



Figura 14 Materias primas y aplicaciones del amoniaco. (Dorado, 2022).

1.8. Estudio de mercado de la materia prima

El amoniaco es una materia prima que se encuentra dominada por la industria agrícola con una cotización en el mercado en torno al 80 % debido a sus propiedades y su uso como base en la producción de fertilizantes. Debido al ascendente crecimiento de la población mundial y a la necesidad de una mayor cantidad de productos agrícolas y cultivos en general, es necesario una mayor cantidad de fertilizantes para mejorar el rendimiento de los cultivos, y así obtener una mayor producción, lo que conlleva un crecimiento del mercado del amoniaco. Se debe de recalcar que el mercado del amoniaco está segmentado según si se encuentra en estado líquido o gas.

1.8.1 Exportaciones de la materia prima

A continuación, en la Tabla 9 se refleja la evolución de las exportaciones a lo largo de los últimos años con respecto a los principales exportadores de materia prima.

Tabla 9 Principales países exportados. (Centre, s.f.).

Exportadores	Valor Exportado en 2018	Valor Exportado en 2019	Valor Exportado en 2020	Valor Exportado en 2021	Valor Exportado en 2022
Alemania	121547	101770	100345	179166	424547
Francia	35536	42620	33865	69107	148136
Trinidad y Tobago	1089549	877841	651423	1679876	3729355
Bélgica	26582	35113	11727	60049	212852
España	28656	23036	18786	28402	51620
China	4443	4005	4170	4149	176273
Arabia Saudí	1876241	1981901	1955887	1575639	2424463
Canadá	411223	382881	389444	686936	1117024
Egipto	161318	107340	82572	281136	509241
Portugal	240	58	523	8911	59531

Con los datos mostrados en la Tabla 9Tabla 11 se puede obtener una gráfica comparativa de la evolución del número de exportaciones de NH₃ a lo largo de los últimos años frente a los principales países exportadores.

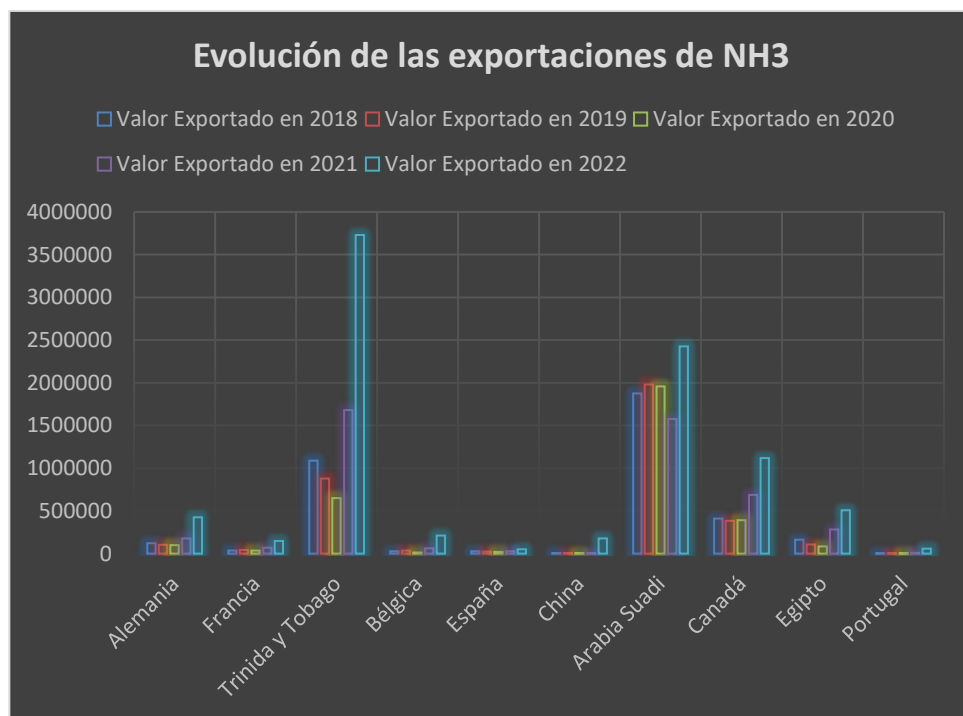


Figura 15 Evolución de las exportaciones de NH₃. Fuente Propia.

Con el fin de presentar un mayor detalle de la evolución de las exportaciones totales de amoníaco de dichos países, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 10 Exportaciones totales por año de amoníaco. Fuente Propia.

	Valor Exportado en 2018	Valor Exportado en 2019	Valor Exportado en 2020	Valor Exportado en 2021	Valor Exportado en 2022
Total	3755335	3556565	3248742	4573371	8853042

Estos datos muestran como las exportaciones del NH_3 han sufrido leves oscilaciones hasta que en 2022 se produjo un crecimiento acentuado en la economía de dicha materia prima. A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar la tendencia de crecimiento de las exportaciones de NH_3 en los últimos años.

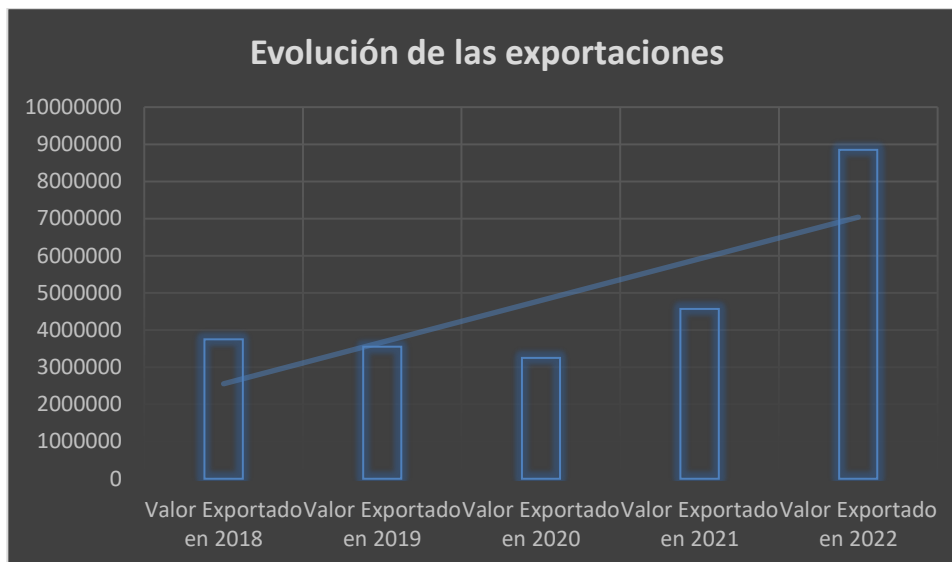


Figura 16 Evolución de las exportaciones totales del amoníaco. Fuente Propia.

El ITC muestra un mapa del mundo donde se puede observar los valores de NH_3 exportados por cada país.

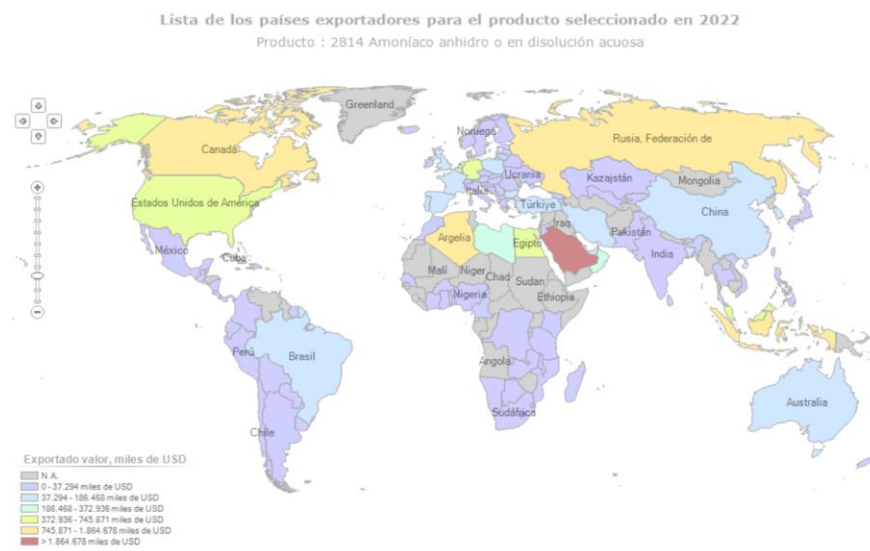


Figura 17 Países exportadores de amoníaco en todo el mundo. (Centre, s.f.).

Haciendo especialmente hincapié en Europa, se muestran los valores de NH_3 en la siguiente figura.

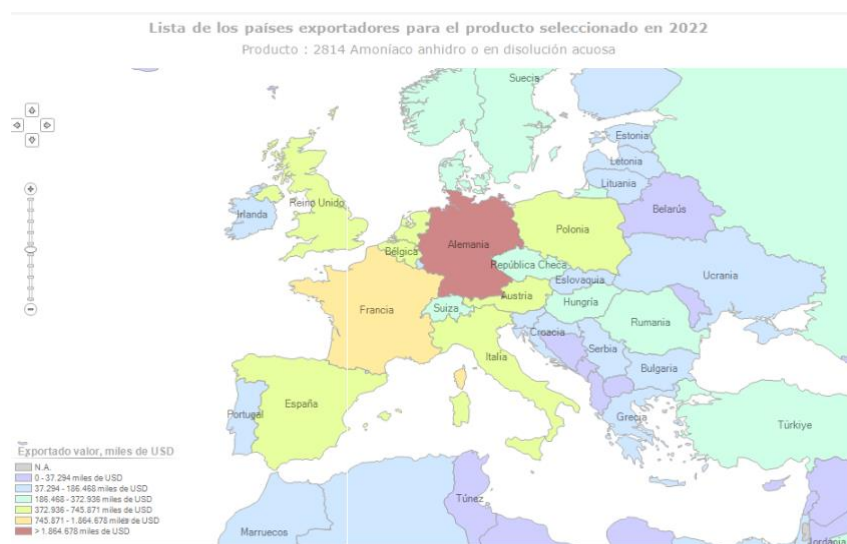


Figura 18 Países europeos exportadores de amoniaco. (Centre, s.f.).

1.8.2 Importaciones de la materia prima

A continuación, en la Tabla 11 se refleja la evolución de las importaciones a lo largo de los últimos años con respecto a los principales países importadores de la materia prima.

Tabla 11 Principales países importados. (Centre, s.f.).

Importadores	Valor Importado en 2018	Valor Importado en 2019	Valor Importado en 2020	Valor Importado en 2021	Valor Importado en 2022
Estados Unidos	1046997	745017	688713	1412944	2496726
Corea	479054	398296	331607	746686	1218342
Alemania	203867	201184	151897	231813	546596
Marruecos	424355	391433	420746	769414	2113228
España	146622	119689	103754	241494	464035
Italia	18937	36370	6727	34471	216168
Portugal	62132	52372	45796	107091	276260
República Checa	62694	62231	51489	92268	191475
China	348732	325786	331170	415855	247823
Suecia	67079	74412	56657	124770	250097

De los datos mostrados en la Tabla 11 se puede obtener una gráfica comparativa de la evolución del número de importaciones de NH_3 a lo largo de los últimos años frente a los principales países importadores.

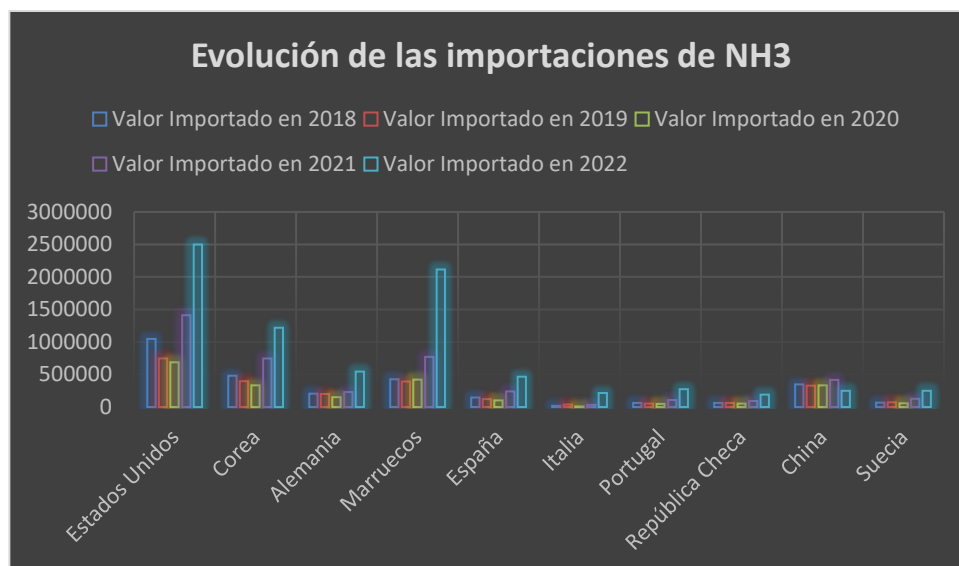


Figura 19 Evolución de las exportaciones de NH₃. Fuente Propia.

Con el fin de presentar un mayor detalle de la evolución de las importaciones totales de NH₃ referente a dichos países, se presente la siguiente tabla.

Tabla 12 Importaciones totales por año de amoniaco. Fuente Propia.

	Valor Importado en 2018	Valor Importado en 2019	Valor Importado en 2020	Valor Importado en 2021	Valor Importado en 2022
Total	2860469	2406790	2188556	4176806	8020750

Estos datos muestran como las importaciones del NH₃ ha sufrido un crecimiento a lo largo de los años, destacando un crecimiento acentuado en países como Estados Unidos, Marruecos y Corea. A continuación, se muestra una gráfica donde se puede observar la tendencia de crecimiento de las importaciones de NH₃ en los últimos años.

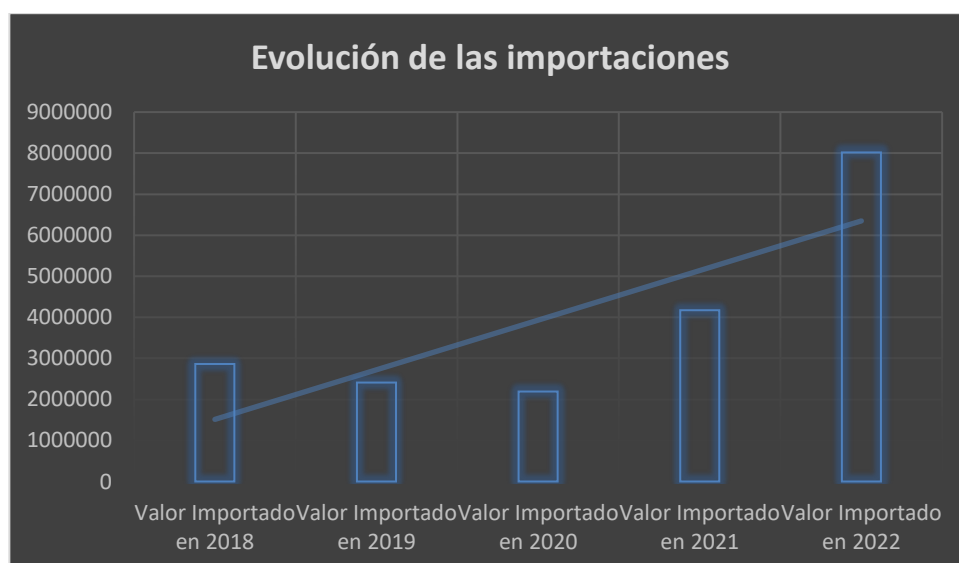


Figura 20 Evolución de las importaciones totales del amoniaco. Fuente Propia.

El ITC muestra un mapa del mundo donde se puede observar los valores de NH_3 importados por cada país.

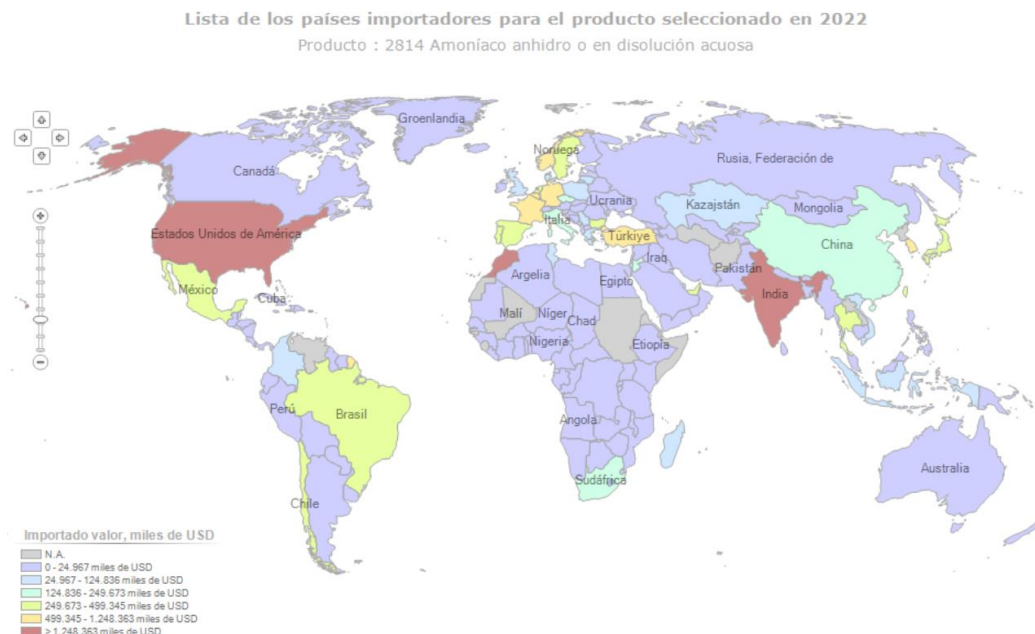


Figura 21 Países importadores de amoníaco en todo el mundo. (Centre, s.f.).

Haciendo especialmente hincapié en Europa, se muestran los valores de NH_3 en la siguiente figura.



Figura 22 Países europeos importadores de amoníaco. (Centre, s.f.).

1.9. Fundamentos del proceso de producción (Central, 2012)

Tras un estudio minucioso de los diferentes procesos para obtener HNO_3 , se ha establecido que el proceso a seguir para el desarrollo de la presente planta consiste en el proceso Ostwald, ya que la pureza máxima que puede alcanzar el HNO_3 es del 68 %, que se corresponde con el límite para el empleo de ácido nítrico como fertilizante (principal uso). El proceso Ostwald consiste en:

- Oxidación de amoníaco con aire en presencia de un catalizador (platino con 10% de rodio) formando óxido nítrico y agua.
- El óxido nítrico se oxida para dar lugar a dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Absorción del NO_2 para dar lugar a HNO_3 de forma diluida.

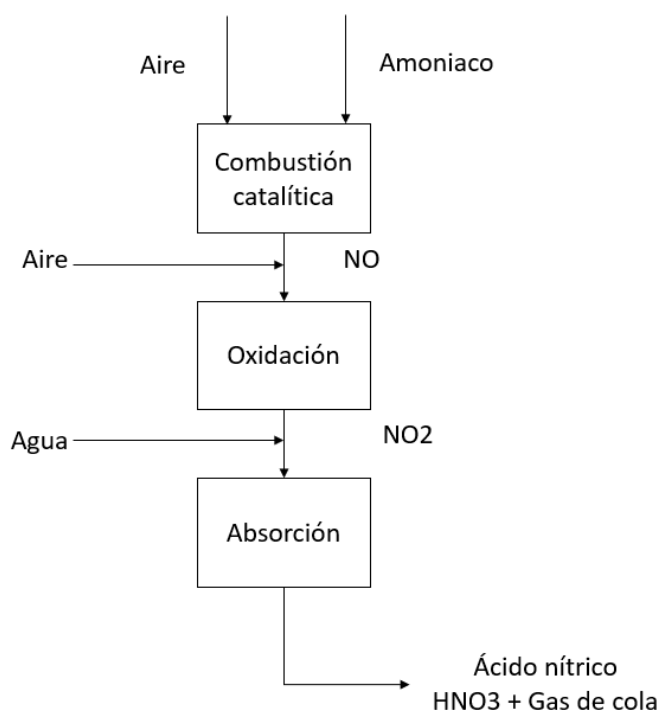


Figura 23 Reacciones que tienen lugar en el proceso Ostwald. (Central, 2012).

1.10. Condiciones de operación (Central, 2012)

1.10.1 Temperatura

El control de temperatura en el proceso es de vital importancia para obtener los rendimientos y eficiencia esperados en la planta. Este control de temperatura adquiere mayor importancia tanto en el reactor como en el tren de intercambiadores de calor. En el reactor si se opera a temperaturas bajas (200-400 °C) se favorece a la producción de compuestos indeseables (N_2 y NO) que reducen la eficiencia de la planta, por lo que el reactor debe de operar a temperaturas superiores.

Una temperatura muy alta en el reactor tampoco es eficiente, ya que a temperaturas cercanas a los 900 °C se favorece a la pérdida de catalizador por evaporación.

Teniendo en cuenta los límites que existen a la hora de operar, se recomienda que la temperatura oscile entre 550-850 °C, con el objetivo de maximizar la conversión y el rendimiento de la planta.

$$550 < T_{\text{optima}} < 850 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por otro lado, se debe de tener en cuenta que todas las reacciones que ocurren durante el proceso son exotérmicas. Esto significa que se produce un enfriamiento en casi todas las etapas. Además, se contribuye al aprovechamiento de la energía en el precalentamiento de la materia prima, producción de vapor y en proporcionar energía a las turbinas que mueven al compresor.

A continuación, se muestra una tabla donde se observa la evolución de la temperatura a lo largo de la planta, para observar las corrientes ver el apartado “Diagrama de flujos de la planta (PFD)”

Tabla 13 Evolución de la temperatura. Fuente Propia.

Evolución de la temperatura de la planta de HNO ₃			
Corriente	T (°C)	Corriente	T (°C)
1	-33	37	262
2	-15	38	-
3	177	39	-
4	250,9	40	-
5	645	41	-
6	645	42	20
7	596	43	20
8	300	44	20
9	220	45	20
10	100	46	200
11	100	47	20
12	48	48	20
13	48	49	70
14	55	50	20
15	55	51	20
16	80	52	-
17	65	53	-
18	10	54	7
19	50	55	-
20	202,5	56	7
21	600	57	40
22	-	58	200
23	-	59	150
24	-	60	200
25	35	61	250
26	35	62	364,2
27	200,3	63	250
28	200,3	64	364,2
29	200,3	65	362
30	45	66	-
31	215,6	67	-
32	215,6	68	20
33	215,6	69	-
34	215,6	70	-
35	80	71	-
36	215,6		

Como se puede observar en la Tabla 13, se produce una clara reducción de la temperatura a lo largo de la planta debido a las reacciones exotérmicas y refrigeraciones que se producen. Esas reducciones

de la temperatura quedan reflejadas en la Figura 24, donde se observa la línea de tendencia negativa de dichas temperaturas.

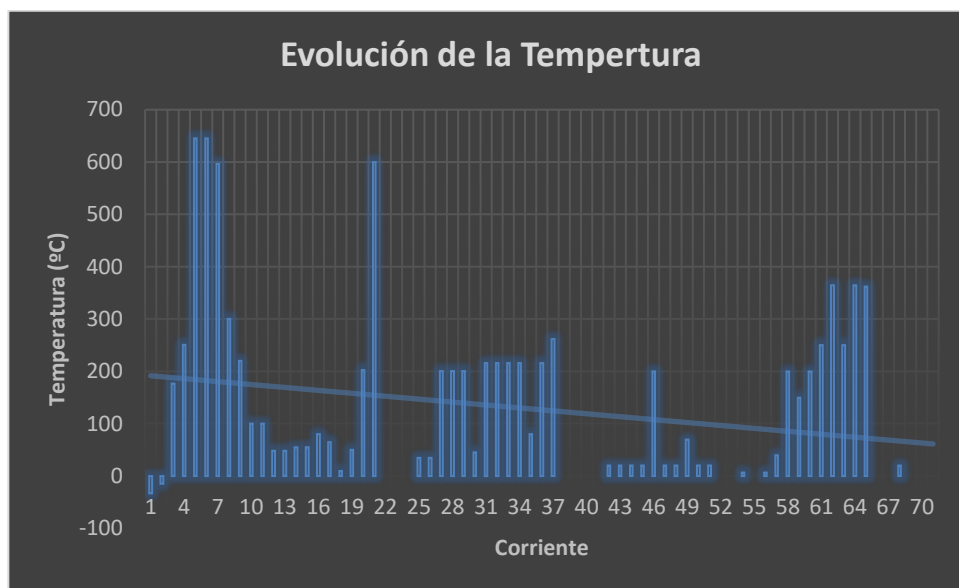


Figura 24 Evolución de la temperatura a lo largo de la planta. Fuente Propia.

1.10.2 Presión

La presión es otra de las condiciones de operación que determina el buen funcionamiento de la planta. En las plantas de ácido nítrico se pueden operar a presión única (la presión en la conversión es similar a la de la absorción) y dual (presión media en la reacción y alta en la absorción).

La opción establecida para la presente planta es la de trabajar a presión única, esto supone:

- Menor coste de inversión.
- Requiere de menos espacio (la posibilidad de tener más espacio liberado para una posible ampliación de la implementación).
- Obtener ácido nítrico con una concentración del 60 %.
- Pérdida del catalizador más rápida.

A continuación, en la Tabla 14 se observa la evolución de la presión a lo largo de la planta, para observar las corrientes ver el apartado “Diagrama de flujos de la planta (PFD)”

Tabla 14 Evolución de la presión. Fuente Propia.

Evolución de la presión de la planta de HNO ₃			
Corriente	P (bar)	Corriente	P (bar)
1	1	37	12,4
2	12,4	38	-
3	12,4	39	-
4	12,4	40	-
5	7,5	41	-
6	7,5	42	1

7	7,5	43	1
8	7,5	44	1
9	7,5	45	1
10	7,5	46	10
11	7,5	47	1
12	10	48	1
13	15	49	1
14	10	50	1
15	12	51	1
16	10	52	-
17	10	53	-
18	9,6	54	1
19	9,6	55	-
20	9,6	56	1
21	9,5	57	1
22	-	58	10
23	-	59	10
24	-	60	10
25	1	61	40
26	1	62	40
27	3,521	63	40
28	3,521	64	40
29	3,521	65	-
30	3,521	66	-
31	12,4	67	-
32	12,4	68	1
33	12,4	69	-
34	12,4	70	-
35	12,4	71	-
36	12,4		

Como se observa en la Tabla 14, se produce un leve crecimiento de la presión a lo largo de la planta, debido a las condiciones de operación necesarias para obtener dicho producto. Esta evolución de la presión queda reflejada en la Figura 25, donde se observa la leve tendencia positiva de estas presiones.

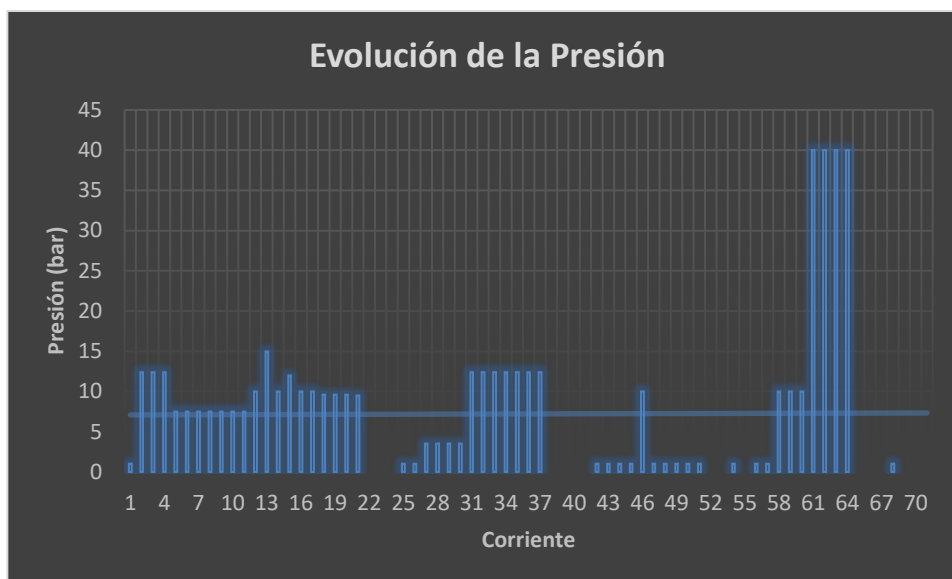


Figura 25 Evolución de la presión a lo largo de la planta. Fuente Propia.

1.10.3 Catalizador

Los catalizadores son sustancias capaces de acelerar (catalizador positivo) o retardar (inhibidor) una reacción química, permaneciendo este mismo inalterado. A este proceso se le llama catálisis y puede ser de dos tipos:

- Homogénea: El catalizador y el reactivo están en una misma fase.
- Heterogénea: El catalizador y reactivo se encuentran en distintas fases.

Los catalizadores sólidos pueden ser porosos y están hecho de metal u óxido metálico soportado sobre una matriz sólida inerte. En este caso particular se conoce como catálisis de contacto.

En la presente planta de ácido nítrico se va a utilizar como catalizador platino, el cual tiene una relación platino/rodio de 90/10, estando constituido por mallas muy finas.

En el punto de partida de la planta, el catalizador presenta baja porosidad, por lo que la transferencia de masa es relativamente baja. Tras unos días de operación la porosidad del catalizador aumenta y por ende alcanza el máximo de su eficiencia. Si ese máximo disminuye, se determina que se ha producido una contaminación del catalizador, perjudicando de manera severa la operación.

La contaminación puede ser producida debido a que se han introducido sustancias (impurezas u óxidos) que se han depositado en la superficie del catalizador.

1.10.4 Agua de proceso

Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta el agua a emplear en las diferentes operaciones debe ser agua desionizada, es decir, no se puede emplear agua que no esté tratada, ni filtrada. El empleo de agua desionizada es de vital importancia en este tipo de plantas, ya que con su empleo se evita la corrosión del acero debido a las sales.

Si no se emplea agua desionizada, los conductos se corroerían y se producirían fugas que pondrían en peligro la integridad física de las personas, así como la propia infraestructura, debido a las características anteriormente mencionadas tanto del NH_3 como del HNO_3 .

2 MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA

2.1. Introducción

En este capítulo se profundizará en el proceso de obtención de ácido nítrico, detallando cada uno de los equipos utilizados y cada reacción o proceso que se realice en estos.

La obtención del ácido nítrico consta de una serie de operaciones de cierta complejidad, donde se producen numerosas reacciones hasta la obtención de dicho producto. A continuación, se realiza una descripción detallada del proceso de obtención de HNO_3 .

El amoníaco se encuentra almacenado en esfera de almacenamiento (TK 01), en estado líquido (-33°C y 1 bar). Esta materia prima es impulsada a través de una bomba (P 01) aumentando la presión del fluido a 12,4 bar para luego ser vaporizado en el intercambiador de calor (E 01) proporcionando a la corriente gaseosa de NH_3 las condiciones de operación del reactor. Esta vaporización se produce debido al aprovechamiento de energía que posee una corriente de vapor de agua.

Por otro lado, una corriente de aire entra al proceso en condiciones ambientales (35°C y 1 bar). Este aire es filtrado (F 02) con el fin de que no entre en el proceso impurezas o partículas que puedan comprometer la operación. Posteriormente, este aire entra en un tren de compresión con refrigeración intermedia (C 01-E 02-C 02) proporcionando al aire las condiciones de operación del reactor ($215,6^\circ\text{C}$ y 12,4 bar), enviando parte de este al mezclador (MX 01) circulando primero por el reactor (R 01) para refrigerarlo y otra parte al blanqueador (BL 01).

Las corrientes de NH_3 gaseoso y aire son mezcladas en MX 01 a las condiciones óptimas para que se produzca la reacción en el reactor (R 01).

En el reactor (R 01) se produce la oxidación del amoníaco, que ocurre sobre el catalizador de platino según la siguiente reacción:

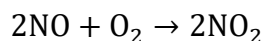


La primera reacción tiene lugar con una eficiencia del 95 %, mientras que la segunda tiene lugar con una eficiencia del 5 %.

Tras dicha reacción, la corriente gaseosa se encuentra a 645°C y 7,5 bar que circula por un filtro (F 01) con el fin de recuperar un alto porcentaje del catalizador que ha podido ser volatilizado.

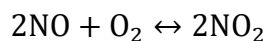
Posteriormente al paso por el filtro, esta corriente gaseosa circula por un tren de intercambiadores de calor, con el fin de reducir la temperatura de la corriente. Este tren de intercambiadores está formado por (E 03-E 04-E 05). Debido a la notoria reducción de la temperatura que se produce en cada uno de los intercambiadores, se producen reacciones debido al enfriamiento que experimenta la corriente.

En el intercambiador de calor E 03 se experimenta un enfriamiento desde los 645°C hasta los 596°C empleando vapor de agua como refrigerante. En este equipo reacciona un 3 % de NO según la siguiente ecuación:

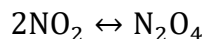


Reacción 3.

Posteriormente, se introduce en E 04, donde nuevamente se produce una refrigeración de la corriente debido al empleo de vapor de agua como refrigerante, disminuyendo la temperatura de la corriente gaseosa hasta los 300 °C. En este enfriamiento se produce una reacción del 10 % de NO y un 40 % del N₂O₄.

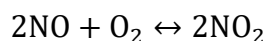


Reacción 4.

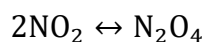


Reacción 5.

Para finalizar dicho tren de intercambiadores, la corriente gaseosa es introducida en el intercambiador de calor E 05. Este intercambiador tiene la particularidad que no emplea agua como refrigerante, sino que emplea el propio gas de cola proveniente de la columna de absorción (CA 01), permitiendo que la corriente de NO_x se caliente para su posterior entrada en el reactor. La corriente del proceso (corriente gaseosa) tras su paso por el E 05 se encuentra a 220 °C, reaccionando un 30 % de NO y un 40 % de N₂O₄, según las siguientes reacciones.



Reacción 6.



Reacción 7.

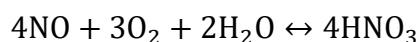
Tras el paso por E 05, la corriente de proceso es introducida en un condensador (E 07), donde se produce nuevamente una refrigeración (con agua de enfriamiento), otorgando a la corriente unas condiciones de operación óptima para su posterior entrada en la columna de absorción (100 °C y 7,5 bar) tras su impulsión por la bomba P 02.

Como anteriormente se ha dicho, esta reducción implica nuevamente una reacción donde se encuentran implicado el NO reaccionando en un 43% y el NO₂ reaccionando en un 20%.

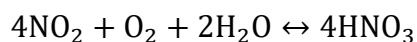
En la columna de absorción (CA 01), se produce una mezcla de corrientes provenientes del agua de proceso (a las condiciones estimadas), agua de refrigeración, gas de proceso, y una corriente refrigerada de salida del blanqueador (BL 01). Se debe de destacar que en la columna de absorción se producen las siguientes reacciones:



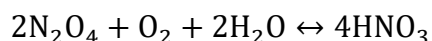
Reacción 8.



Reacción 9.



Reacción 10.

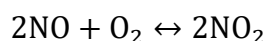


Reacción 11.

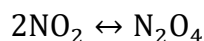
Tras esta serie de reacciones se produce una cantidad de 50.000 kg/día de HNO₃, pero aún no se encuentra en la concentración deseada del 60%. Este HNO₃ se encuentra a 48 °C y 10 bar.

Por otro lado, de CA 01 sale una corriente de gas de cola (anteriormente mencionada), empleada para refrigerar.

Tras la obtención del HNO₃, este es impulsado por una bomba (P 03) hasta llegar al blanqueador (BL 01), donde se introduce el aire, anteriormente mencionado, junto con la corriente de HNO₃, con el fin de arrastra el resto de NO_x, inertes e impurezas y obtener la corriente del producto en la concentración y condiciones deseadas. En este equipo debido a la introducción del aire, se produce nuevamente unas reacciones, las cuales son las siguientes:



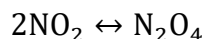
Reacción 12.



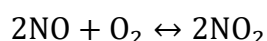
Reacción 13.

A la salida del BL 01, la corriente producto es impulsada por la bomba (P 04) hasta ser almacenada en tanques de almacenamientos específicos para el HNO_3 (TK 02) a 55 °C y 12 bar, con la concentración deseada del 60%.

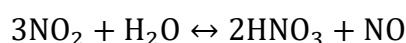
El resto de NO_x , inertes e impurezas que fueron arrastrados por el aire, se introducen en el intercambiador de calor (E 08) donde se enfría dicha corriente reaccionando un 5% de NO y un 95% de NO_2 para posteriormente se introducida en la columna de absorción donde se produce nuevamente HNO_3 con las siguientes reacciones:



Reacción 14.



Reacción 15.



Reacción 16.

Cabe mencionar que la corriente de gas de cola, tras su calentamiento por el reactor (R 01), se introduce en un nuevo reactor (R 02) con el fin de disminuir la concentración de NO_x que contiene dicha corriente y se le hace pasar posteriormente por una turbina para reducir su presión hasta la atmosférica, y refrigerando esa corriente en el intercambiador (E 12) con el fin de que dicho gas pueda ser liberado a la atmósfera en las condiciones estipulas por las leyes y gobiernos, siendo estas emitidas de forma segura.

Por último, se debe de tener en cuenta que el agua empleada en el proceso debe de estar en unas condiciones determinadas y debe de ser pura, para asegurar el buen funcionamiento y operación de la planta.

A continuación, en la Figura 26 se muestra el diagrama de bloques de la planta diseñada. Este diagrama consiste en una simplificación para la comprensión de los procesos que tienen lugar en las instalaciones.

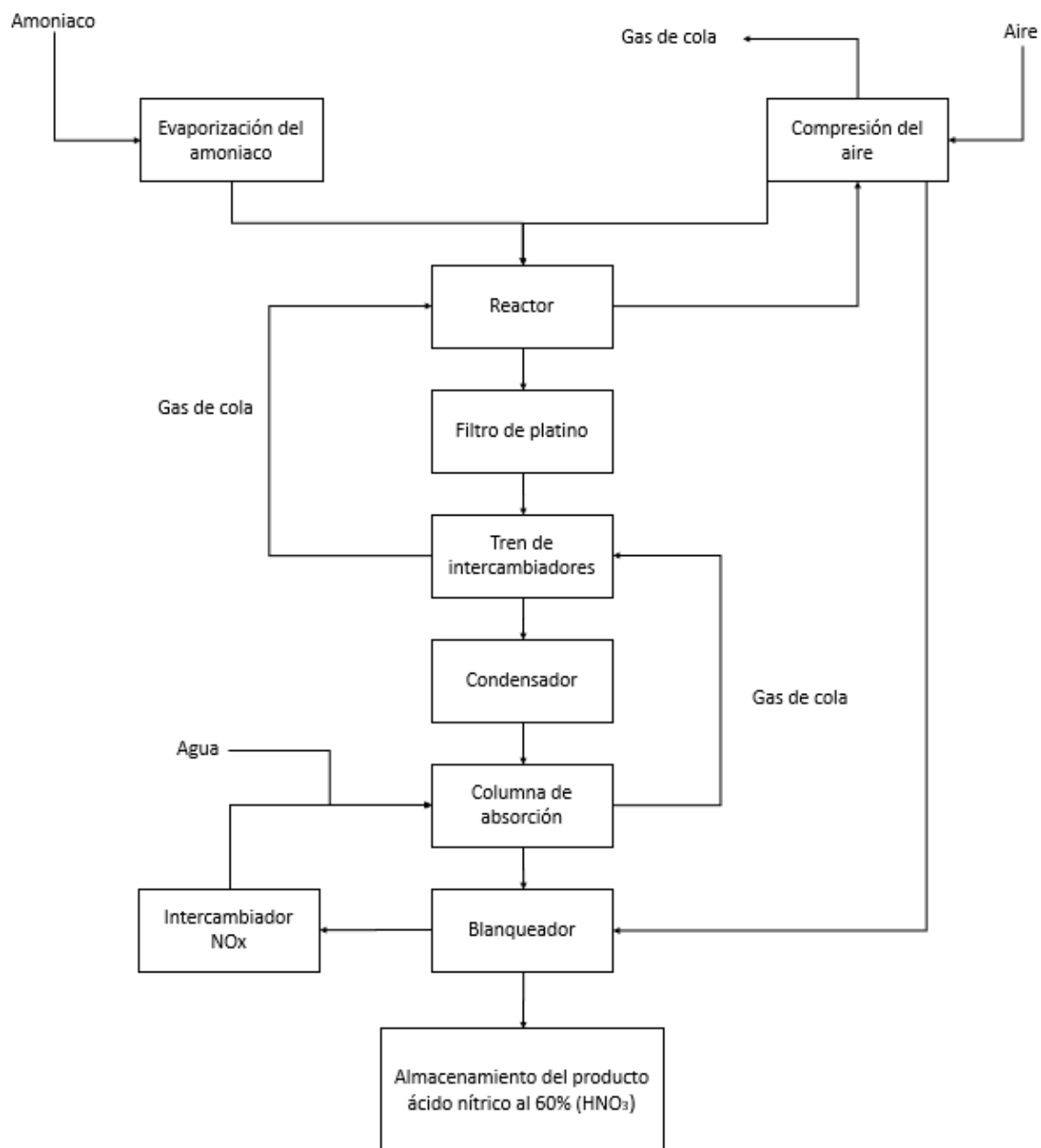


Figura 26 Diagrama de bloque de la planta de HNO_3 . Fuente Propia.

2.2. Diagrama de flujos de la planta (PFD)

El diagrama de flujo del proceso completo (PFD) se muestra en la Figura 27 y en la Figura 28 de una manera más detallada.

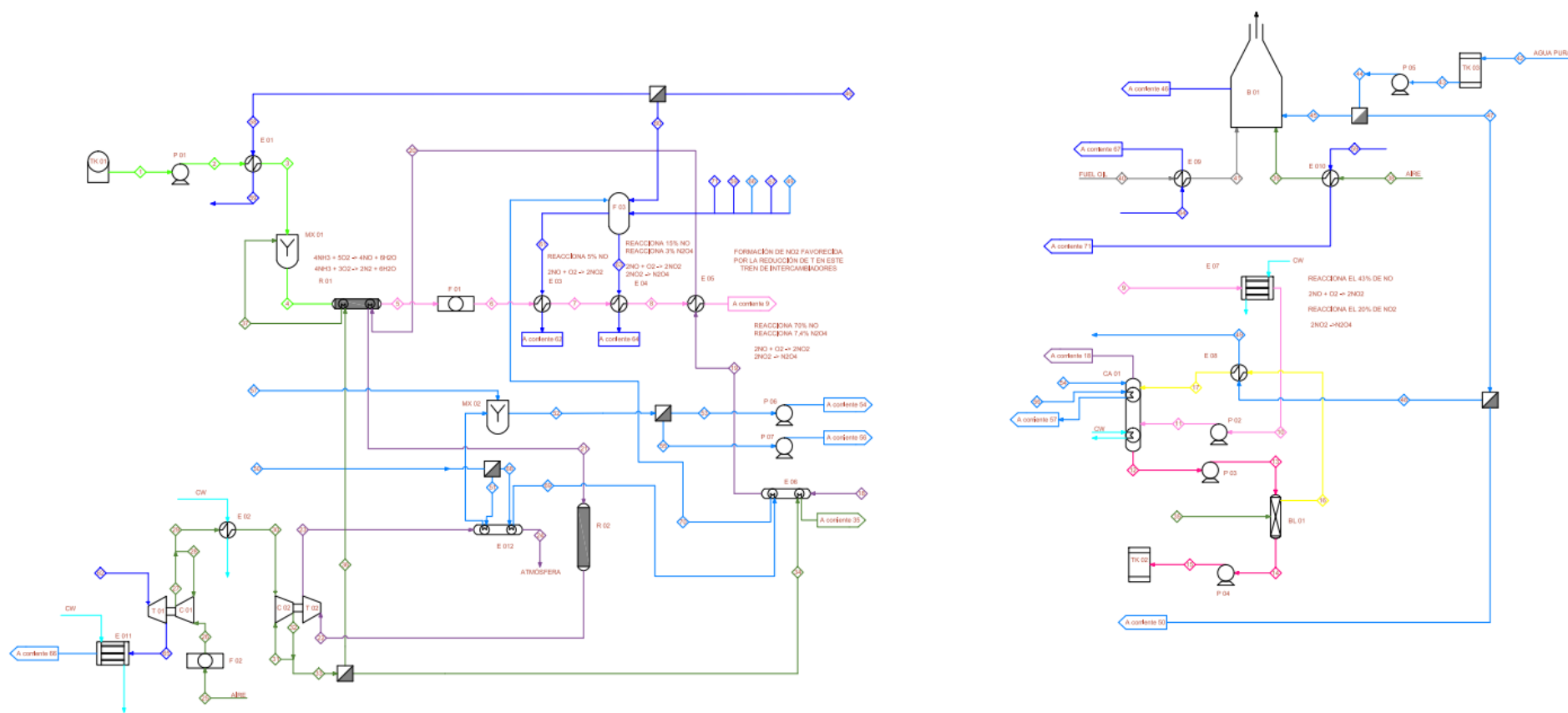


Figura 27 PFD de la planta con las corrientes detalladas. Fuente propia.

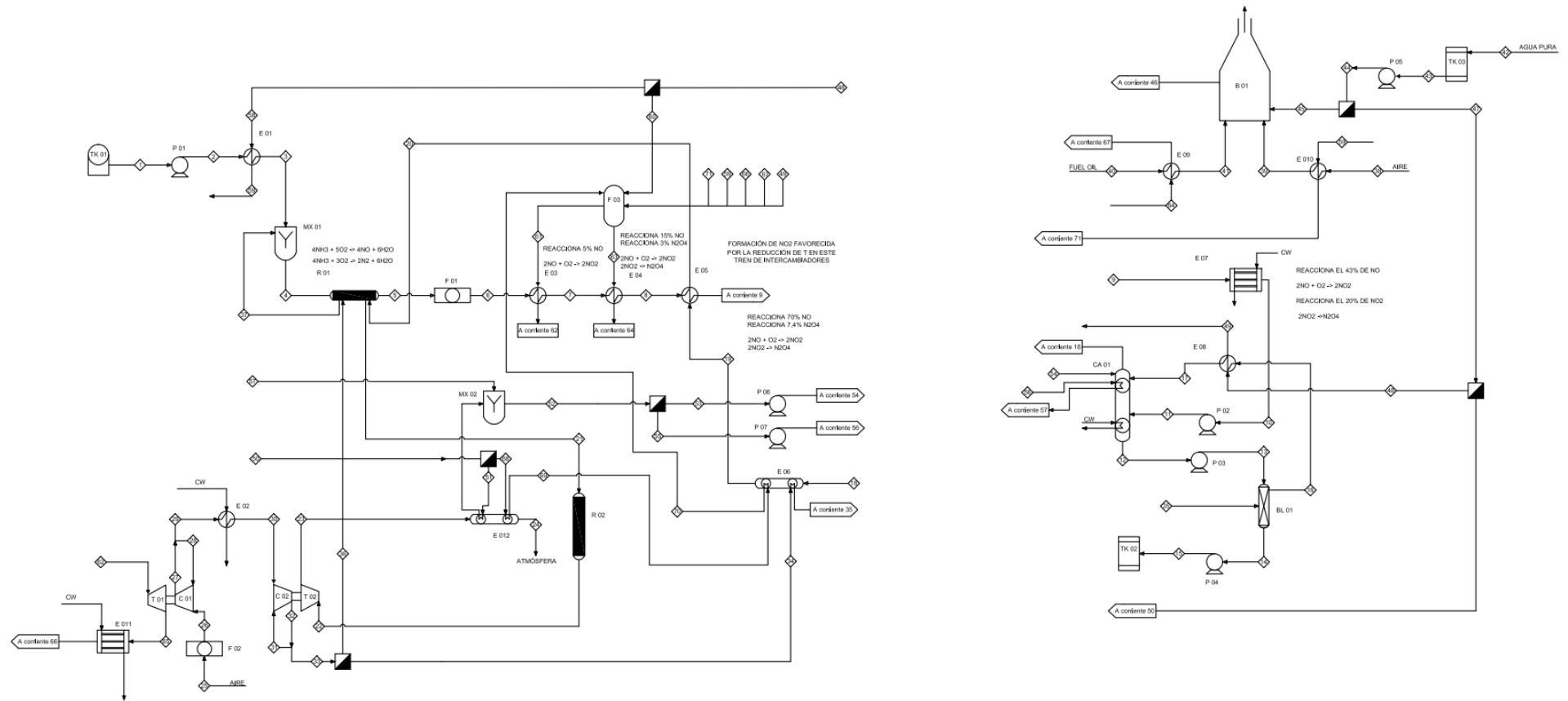


Figura 28 PFD de la planta. Fuente propia.

2.3. Lista de líneas

Con el fin de definir en mayor medida el proceso, se muestra la lista de líneas de la correspondiente planta basada en el diagrama de flujo.

Tabla 15 Lista de líneas de la planta de ácido nítrico. Fuente Propia.

									Operación		DISEÑO		CAUDAL	AISLAMIENTO	
Nº Unidad	Nº línea	Fluido	Clase tubería	Espesor aislamiento	Traceado	Tag	Desde	Hasta	Presión (barg)	Temperatura (°C)	Presión (barg)	Temperatura (°C)	Caudal (kg/día)	Espesor	Tipo
01	01	AMO	PVD01	NA	NA	AMO-101-PVD01-NA	TK-01	P-01	1	-33	3,5	-18	15762	NA	PP
01	02	AMO	PVD01	NA	NA	AMO-102-PVD01-NA	P-01	E-01	12,4	-15	14,9	0	15762	NA	PP
01	03	AMO	PVD01	NA	NA	AMO-103-PVD01-NA	E-01	MX-01	12,4	177	14,9	192	15762	NA	PP
01	04	AMO	PVD01	NA	NA	AMO-104-PVD01-NA	MX-01	R-01	12,4	250,9	14,9	265,9	269450	NA	PP
02	05	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-205-PVD01-NA	R-01	F-01	7,5	645	10	660	269450	NA	PP
02	06	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-206-PVD01-NA	F-01	E-03	7,5	645	10	660	269450	NA	PP
02	07	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-207-PVD01-NA	E-03	E-04	7,5	596	10	611	269450	NA	PP
02	08	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-208-PVD01-NA	E-04	E-05	7,5	300	10	315	269450	NA	PP
02	09	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-209-PVD01-NA	E-05	E-07	7,5	220	10	235	266362	NA	PP
02	10	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-210-PVD01-NA	E-07	P-02	7,5	100	10	115	266362	NA	PP
02	11	VAP	PVD01	NA	NA	VAP-211-PVD01-NA	P-02	CA-01	7,5	100	10	115	266362	NA	PP
03	12	PRD	PVD01	NA	NA	PRD-312-PVD01-NA	CA-01	P-03	10	48	12,5	63	259108	NA	PP
03	13	PRD	PVD01	NA	NA	PRD-313-PVD01-NA	P-03	BL-01	15	48	17,5	63	259108	NA	PP
03	14	PRD	PVD01	NA	NA	PRD-314-PVD01-NA	BL-01	P-04	10	55	12,5	70	83333	NA	PP
03	15	PRD	PVD01	NA	NA	PRD-315-PVD01-NA	P-04	TK-02	12	55	14,5	70	83333	NA	PP
04	16	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-416-PVD01-NA	BL-01	E-08	10	80	12,5	95	228946	NA	PP
04	17	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-417-PVD01-NA	E-08	CA-01	10	65	12,5	80	228946	NA	PP
04	18	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-418-PVD01-NA	CA-01	E-06	9,6	10	12,1	25	250737	NA	PP
04	19	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-419-PVD01-NA	E-06	E-05	9,6	50	12,1	65	250737	NA	PP
04	20	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-420-PVD01-NA	E-05	R-01	9,6	202,5	12,1	217,5	250737	NA	PP
04	21	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-421-PVD01-NA	R-01	R-02	9,5	600	12	615	250737	NA	PP
04	22	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-422-PVD01-NA	R-02	T-02	-	-	-	-	249947	NA	PP
04	23	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-423-PVD01-NA	T-02	E-012	-	-	-	-	249947	NA	PP
04	24	NOX	PVD01	NA	NA	NOX-424-PVD01-NA	E-012	Fin de línea	-	-	-	-	249947	NA	PP
05	25	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-525-PVD01-NA	Ambiente	F-02	1	35	3,5	50	307500	NA	PP
05	26	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-526-PVD01-NA	F-02	C-01	1	35	3,5	50	307500	NA	PP
05	27	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-527-PVD01-NA	C-01	AIR-527-PVD01-NA	3,521	200,3	6,021	215,3	153750	NA	PP
05	27	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-527-PVD01-NA	C-01	AIR-529-PVD01-NA	3,521	200,3	6,021	215,3	153750	NA	PP
05	28	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-528-PVD01-NA	AIR-527-PVD01-NA	C-01	3,521	200,3	6,021	215,3	153750	NA	PP
05	29	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-529-PVD01-NA	AIR-527-PVD01-NA	E-02	3,521	200,3	6,021	215,3	307500	NA	PP
05	30	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-530-PVD01-NA	E-02	C-02	3,521	45	6,021	60	307500	NA	PP
05	31	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-531-PVD01-NA	AIR-532-PVD01-NA	C-02	12,4	215,6	14,9	230,6	153750	NA	PP
05	32	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-532-PVD01-NA	C-02	AIR-532-PVD01-NA	12,4	215,6	14,9	230,6	153750	NA	PP
05	32	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-532-PVD01-NA	C-02	AIR-533-PVD01-NA	12,4	215,6	14,9	230,6	153750	NA	PP

05	33	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-533-PVD01-NA	AIR-532-PVD01-NA	AIR-534-PVD01-NA	12,4	215,6	14,9	230,6	307500	NA	PP
05	33	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-533-PVD01-NA	AIR-532-PVD01-NA	AIR-536-PVD01-NA	12,4	215,6	14,9	230,6	307500	NA	PP
05	34	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-534-PVD01-NA	AIR-533-PVD01-NA	E-06	12,4	215,6	14,9	230,6	53813	NA	PP
05	35	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-535-PVD01-NA	E-06	BL-01	12,4	80	14,9	95	53813	NA	PP
05	36	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-536-PVD01-NA	AIR-533-PVD01-NA	R-01	12,4	215,6	14,9	230,6	253688	NA	PP
05	37	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-537-PVD01-NA	R-01	MX-01	12,4	262	14,9	277	253688	NA	PP
05	38	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-538-PVD01-NA	Ambiente	E-010	-	-	-	-	-	NA	PP
05	39	AIR	PVD01	NA	NA	AIR-539-PVD01-NA	E-010	B-01	-	-	-	-	-	NA	PP
06	40	FUE	PVD01	NA	NA	FUE-640-PVD01-NA	Depósito fuel	E-09	-	-	-	-	-	NA	PP
06	41	FUE	PVD01	NA	NA	FUE-641-PVD01-NA	E-09	B-01	-	-	-	-	-	NA	PP
07	42	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-742-PVD01-NA	Planta de agua refinada	TK-03	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	43	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-743-PVD01-NA	TK-03	P-05	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	44	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-744-PVD01-NA	P-05	WAT-745-PVD01-NA	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	45	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-745-PVD01-NA	WAT-744-PVD01-NA	B-01	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	46	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-746-PVD01-NA	B-01	WAT-760-PVD01-NA	10	200	12,5	215	-	NA	PP
07	46	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-746-PVD01-NA	B-01	WAT-758-PVD01-NA	10	200	12,5	215	-	NA	PP
07	47	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-747-PVD01-NA	WAT-744-PVD01-NA	WAT-748-PVD01-NA	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	47	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-747-PVD01-NA	WAT-744-PVD01-NA	WAT-750-PVD01-NA	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	48	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-748-PVD01-NA	WAT-747-PVD01-NA	E-08	1	20	3,5	35	17676	NA	PP
07	49	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-749-PVD01-NA	E-08	F-03	1	70	3,5	85	17676	NA	PP
07	50	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-750-PVD01-NA	WAT-747-PVD01-NA	WAT-751-PVD01-NA	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	50	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-750-PVD01-NA	WAT-747-PVD01-NA	WAT-768-PVD01-NA	1	20	3,5		-	NA	PP
07	51	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-751-PVD01-NA	WAT-747-PVD01-NA	E-012	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	52	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-752-PVD01-NA	MX-012	WAT-753-PVD01-NA	-	-	-	-	10000	NA	PP
07	52	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-752-PVD01-NA	MX-012	WAT-755-PVD01-NA	-	-	-	-	10000	NA	PP
07	53	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-753-PVD01-NA	WAT-752-PVD01-NA	P-06	-	-	-	-	5000	NA	PP
07	54	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-754-PVD01-NA	P-06	CA-01	1	7	3,5	22	5000	NA	PP
07	55	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-755-PVD01-NA	WAT-752-PVD01-NA	P-07	-	-	-	-	5000	NA	PP
07	56	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-756-PVD01-NA	P-07	CA-01	1	7	3,5	22	5000	NA	PP
07	57	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-757-PVD01-NA	CA-01	MX-02	1	40	3,5	55	5000	NA	PP
07	58	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-758-PVD01-NA	WAT-746-PVD01-NA	E-01	10	200	12,5	215	36014	NA	PP
07	59	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-759-PVD01-NA	E-01	E-010	10	150	12,5	165	36014	NA	PP
07	60	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-760-PVD01-NA	WAT-746-PVD01-NA	F-03	10	200	12,5	215	-	NA	PP
07	61	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-761-PVD01-NA	F-03	E-03	40	250	42,5	265	36014	NA	PP
07	62	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-762-PVD01-NA	E-03	T-01	40	364,2	42,5	379,2	36014	NA	PP

07	63	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-763-PVD01-NA	F-03	E-04	40	250	42,5	265	249220	NA	PP
07	64	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-764-PVD01-NA	E-04	E-09	40	364,2	42,5	379,2	249220	NA	PP
07	65	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-765-PVD01-NA	T-01	E-011	-	362	-	377	36014	NA	PP
07	66	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-766-PVD01-NA	E-011	F-03	-	-	-	-	36014	NA	PP
07	67	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-767-PVD01-NA	E-09	F-03	-	-	-	-	249220	NA	PP
07	68	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-768-PVD01-NA	WAT-750-PVD01-NA	E-012	1	20	3,5	35	-	NA	PP
07	69	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-769-PVD01-NA		E-06	-	-	-	-	-	NA	PP
07	70	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-770-PVD01-NA	E-06	F-03	-	-	-	-	-	NA	PP
07	71	WAT	PVD01	NA	NA	WAT-771-PVD01-NA	E-010	F-03	-	-	-	-	36014	NA	PP

.

Se debe de recalcar que los fluidos predominantes en la planta de HNO_3 son los siguientes:

- AMO: Amoniaco.
- VAP: Vapor de agua.
- PRD: Producto.
- NO_x : NO_x .
- AIR: Aire.
- WAT: Agua líquida.

Para entender la simbología establecida, se define a continuación:

- NA: No Aplica.
- PP: Aislamiento por Protección Personal.

3 MEMORIA DE CÁLCULO

3.1. Introducción

En la memoria de cálculo serán introducidos los cálculos referidos al balance de materia y energía de toda la planta a diseñar, siendo incluidos en ellos, por tanto, las composiciones de cada corriente especificada en el diagrama del proceso PFD, junto a las condiciones de operación de cada una de ellas, siendo estas la presión y temperatura a la que se encuentren.

Para ello, se ha partido del dato inicial de la producción de ácido nítrico con una composición del 60 %, fijada en 50.000 kg/día, teniendo en cuenta que el tiempo de operación es de 8000 horas.

Todos los cálculos referentes al balance de materia han sido resueltos en Excel, mientras que los correspondientes al balance energía, simulación y dimensionamiento de las instalaciones han sido estimados a través de un programa de cálculo algebraico, Engineering Equation Solver (EES).

3.2. Balance de materia

Con el fin de continuar con la elaboración de la ingeniería procesos de la planta de HNO_3 , se realiza el Balance de Materia (BM). Este balance permite determinar cómo varía los flujos de materia de cada una de las corrientes a lo largo de su camino por la planta. Además, para la correcta realización del BM se han realizado diversas suposiciones e imposiciones, con el fin de determinar la variación de los flujos.

Los datos de partidas que se han tenido en cuenta para la elaboración de dicho BM son los siguientes:

Tabla 16 Datos de partida. Fuente Propia.

Datos		
Producción de la planta	50	t/día HNO_3 débil
Concentración a la salida HNO_3	60	%
Pm NH_3	17	g/mol
Pm HNO_3	63	g/mol
Pm NO	30	g/mol
Pm NO_2	46	g/mol
Pm O_2	32	g/mol
Pm N_2O_4	92	g/mol
Pm H_2O	18	g/mol
Pm N_2	28	g/mol

Por otro lado, se tiene que tener en cuenta la composición del aire también como un dato de partida.

Tabla 17 Composición del aire.

Composición aire		
O ₂	22,7	%
N ₂	74,91	%
Inertes	1,2	%
H ₂ O	1,19	%

Además de estos datos de partidas, se ha considerado la idealidad de los diferentes equipos de la planta con el fin de facilitar los cálculos debido a las numerosas reacciones y a la cantidad de corrientes existentes.

Tabla 18 Rendimiento de los equipos de la planta de HNO₃. Fuente Propia.

Rendimiento equipos				
Filtros	100	%	Reactor/ caldera residual	100 %
Intercambiadores	100	%	Blanqueador	100 %
Condensadores	100	%	Bombas	100 %
Compresores	100	%	Torre de absorción	100 %
Turbinas	100	%	Mezcladores	100 %

Para llevar a cabo el BM de la planta, se utilizan las siguientes ecuaciones:

- BM sin reacción química:

$$E = S \quad (3.1)$$

Donde:

- E: Entrada de la corriente al equipo.
- S: Salida de la corriente del equipo.

- BM con reacción química:

$$E + P = A + C + S \quad (3.2)$$

Donde:

- E: Entrada de la corriente al equipo.
- P: Producto que se genera en el equipo.
- A: Acumulación del material en el equipo.
- C: Consumo de material en el equipo.
- S: Salida de la corriente del equipo.

Por otro lado, también es necesario determinar las suposiciones que se han determinado para llevar a cabo los cálculos de masa. Estas suposiciones son las siguientes:

Tabla 19 Suposiciones para la elaboración de los cálculos. Fuente Propia.

Suposiciones y Aproximaciones		
6,15	kg de aire	por cada kg de HNO_3
82,50	% Aire del total	alimentado al reactor
17,5	% Aire total	alimentado al blanqueador
0,315245	kg de aire de NH_3	por cada kg de HNO_3
Intercambiador E 03 reacciona un	3	% de NO debido al descenso de T
Intercambiador E 04 reacciona un	10	% de NO debido al descenso de T
Intercambiador E 04 reacciona un	40	% de N_2O_4 debido al descenso de T
Intercambiador E 05 reacciona un	30	% de NO debido al descenso de T
Intercambiador E 05 reacciona un	40	% de N_2O_4 debido al descenso de T
Reacción 3	43	%de NO
Reacción 4	20	% NO_2
Reacción 5	95	% de NO_2
Reacción 6	95	% de NO
Reacción 7	5	% de NO_2
Reacción 8	95	%de N_2O_4
Reacción 9	95	%de N_2O_4
Reacción 10	95	% de NO
Reacción 11	95	% de NO_2
Blanqueador BL 01reacciona un	50	% NO
Blanqueador BL 01 reacciona un	40	% NO_2
Intercambiador E 08 reacciona un	5	% NO
Intercambiador E 08 reacciona un	95	% NO_2

Con todas las consideraciones mencionadas anteriormente y aplicando la ecuación (3.1) y (3.2) se puede llevar a cabo los cálculos para la obtención del BM. A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 20 Balance de materia (BM) de la planta de HNO₃. Fuente Propia.

Corrientes/Componentes	NH ₃ (kg/d)	O ₂ (kg/d)	N ₂ (kg/d)	Inertes (kg/d)	H ₂ O (kg/d)	NO (kg/d)	NO ₂ (kg/d)	N ₂ O ₄ (kg/d)	Fuel Oil	HNO ₃ (kg/d)	Total Flujo (kg/d)	T (°C)	P (bar)
1	15762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762	-33	1
2	15762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762	-15	12,40
3	15762	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15762	177	12,40
4	15762	57587	190037	3044	3019	0	0	0	0	0	269450	250,9	12,40
5	0	21241	190686	3044	28053	26425	0	0	0	0	269450	645	7,50
6	0	21241	190686	3044	28053	26425	0	0	0	0	269450	645	7,50
7	0	20818	190686	3044	28053	25632	1216	0	0	0	269450	596	7,50
8 (reacción 1)	0	19451	190686	3044	28053	23069	5146	0	0	0	269450	300	7,50
8 (reacción 2)	0	19451	190686	3044	28053	23069	3087	2058	0	0	269450	300	7,50
8 salida	0	19451	190686	3044	28053	23069	3087	2058	0	0	269450	300	7,50
9 (reacción 1)	0	15760	190686	3044	28053	16148	10612	2058	0	0	266362	220	7,50
9 (reacción 2)	0	15760	190686	3044	28053	16148	6367	6303	0	0	266362	220	7,50
9 salida	0	15760	190686	3044	28053	16148	6367	6303	0	0	266362	220	7,50
10 (reacción 3)	0	12057	190686	3044	28053	9205	17014	6303	0	0	266362	100	7,50
10 (reacción 4)	0	12057	190686	3044	28053	9205	13611	9706	0	0	266362	100	7,50
10 (reacción 5)	0	12057	190686	3044	26366	12016	681	9706	0	11806	266362	100	7,50
10 (reacción 6)	0	2925	190686	3044	22942	601	681	9706	0	35777	266362	100	7,50
10 (reacción 7)	0	2919	190686	3044	22935	601	647	9706	0	35824	266362	100	7,50
10 (reacción 8)	0	1316	190686	3044	21131	601	647	485	0	48452	266362	100	7,50
10 salida	0	1316	190686	3044	21131	601	647	485	0	48452	266362	100	7,50
11	0	1316	190686	3044	21131	601	647	485	0	48452	266362	100	7,50
12 (reacción 9)	0	1184	171618	2740	19018	541	997	22	0	48452	244571	48	10
12 (reacción 10)	0	910	171618	2740	19018	27	1784	22	0	48452	244571	48	10
12 (reacción 11)	0	910	171618	2740	18797	396	89	22	0	50000	244571	48	10
12 salida	0	910	171618	2740	33333	396	89	22	0	50000	259108	48	10
13	0	910	171618	2740	33333	396	89	22	0	50000	259108	48	15
14	0	0	0	0	33333	0	0	0	0	50000	83333	55	10
15	0	0	0	0	33333	0	0	0	0	50000	83333	55	12
16 (reacción 1)	0	13020	211929	3386	0	198	392	22	0	0	228946	80	10
16 (reacción 2)	0	13020	211929	3386	0	198	235	179	0	0	228946	80	10
16 salida	0	13020	211929	3386	0	198	235	179	0	0	228946	80	10
17 (reacción 1)	0	13015	211929	3386	0	188	251	179	0	0	228946	65	10
17 (reacción 2)	0	13015	211929	3386	0	188	13	417	0	0	228946	65	10
17 salida	0	13015	211929	3386	0	188	13	417	0	0	228946	65	10
18	0	13146	230997	3690	2113	248	77	465	0	0	250737	10	9,60
19	0	13146	230997	3690	2113	248	77	465	0	0	250737	50	9,60
20	0	13146	230997	3690	2113	248	77	465	0	0	250737	202,5	9,60
21	0	13146	230997	3690	2113	248	77	465	0	0	250737	600	9,50
22	0	13146	230997	3690	2113	-	-	-	0	0	249947	-	-
23	0	13146	230997	3690	2113	-	-	-	0	0	249947	-	-
24	0	13146	230997	3690	2113	-	-	-	0	0	249947	-	-
25	0	69803	230348	3690	3659	0	0	0	0	0	307500	35	1,00

26	0	69803	230348	3690	3659	0	0	0	0	0	307500	35	1,00
27	0	34901	115174	1845	1830	0	0	0	0	0	153750	200,3	3,521
28	0	34901	115174	1845	1830	0	0	0	0	0	153750	200,3	3,521
29	0	69803	230348	3690	3659	0	0	0	0	0	307500	200,3	3,521
30	0	69803	230348	3690	3659	0	0	0	0	0	307500	45	3,521
31	0	34901	115174	1845	1830	0	0	0	0	0	153750	215,6	12,40
32	0	34901	115174	1845	1830	0	0	0	0	0	153750	215,6	12,40
33	0	69803	230348	3690	3659	0	0	0	0	0	307500	215,6	12,40
34	0	12215	40311	646	640	0	0	0	0	0	53813	215,6	12,40
35	0	12215	40311	646	640	0	0	0	0	0	53813	80	12,40
36	0	57587	190037	3044	3019	0	0	0	0	0	253688	215,6	12,40
37	0	57587	190037	3044	3019	0	0	0	0	0	253688	262	12,40
38	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	-
39	0	-	-	-	-	0	0	0	0	0	-	-	-
40	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	-	-
41	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	-	-
42	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
43	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
44	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
45	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
46	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	200	10
47	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
48	0	0	0	0	17676	0	0	0	0	0	17676	20	1
49	0	0	0	0	17676	0	0	0	0	0	17676	70	1
50	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
51	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
52	0	0	0	0	10000	0	0	0	0	0	10000	-	-
53	0	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	5000	-	-
54	0	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	5000	7	1
55	0	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	5000	-	-
56	0	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	5000	7	1
57	0	0	0	0	5000	0	0	0	0	0	5000	40	1
58	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	200	10
59	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	150	10
60	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	200	10
61	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	250	40
62	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	364,2	40
63	0	0	0	0	249220	0	0	0	0	0	249220	250	40
64	0	0	0	0	249220	0	0	0	0	0	249220	364,2	40
65	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	362	-
66	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	-	-
67	0	0	0	0	249220	0	0	0	0	0	249220	-	-
68	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	20	1
69	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-

70	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-
71	0	0	0	0	36014	0	0	0	0	0	36014	-	-

Debido a la falta de información, los caudales de algunas corrientes no han podido ser determinadas, y quedan reflejadas con “- “. Estas corrientes corresponden a líneas auxiliares, es decir, no influyen en el BM de la corriente principal y estudio de este proyecto.

Por otro lado, para determinar la composición de cada una de las corrientes de la planta, se han utilizado las siguientes ecuaciones:

$$\text{Composición (\%)} = \frac{F_{ij}}{F_j} \quad (3.3)$$

$$\sum F_{ij} = 100 (\%) \quad (3.4)$$

Donde:

- F_{ij} : Caudal del material (i) en la corriente (j) en kg/día.
- F_j : Caudal total de la corriente (j) en kg/día.

Empleando las ecuaciones (3.3) y (3.4) se determina la composición de cada fluido en su respectiva corriente. A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 21 Balance de composición (%) de la planta de HNO₃. Fuente Propia.

Corrientes/Composición	NH3 (%)	O2 (%)	N2 (%)	Inertes (%)	H2O (%)	NO (%)	NO2 (%)	N2O4 (%)	Fuel Oil (%)	HNO3 (%)	Total Composición (%)
1	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
2	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
3	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
4	5,85%	21,37%	70,53%	1,13%	1,12%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
5	0%	7,88%	70,77%	1,13%	10,41%	9,81%	0%	0%	0%	0%	100%
6	0%	7,88%	70,77%	1,13%	10,41%	9,81%	0%	0%	0%	0%	100%
7	0%	7,73%	70,77%	1,13%	10,41%	9,51%	0,45%	0%	0%	0%	100%
8 (reacción 1)	0%	7,22%	70,77%	1,13%	10,41%	8,56%	1,91%	0%	0%	0%	100%
8 (reacción 2)	0%	7,22%	70,77%	1,13%	10,41%	8,56%	1,15%	0,76%	0%	0%	100%
8 salida	0%	7,22%	70,77%	1,13%	10,41%	8,56%	1,15%	0,76%	0%	0%	100%
9 (reacción 1)	0%	5,92%	71,59%	1,14%	10,53%	6,06%	3,98%	0,77%	0%	0%	100%
9 (reacción 2)	0%	5,92%	71,59%	1,14%	10,53%	6,06%	2,39%	2,37%	0%	0%	100%
9 salida	0%	5,92%	71,59%	1,14%	10,53%	6,06%	2,39%	2,37%	0%	0%	100%
10 (reacción 3)	0%	4,53%	71,59%	1,14%	10,53%	3,46%	6,39%	2,37%	0%	0%	100%
10 (reacción 4)	0%	4,53%	71,59%	1,14%	10,53%	3,46%	5,11%	3,64%	0%	0%	100%
10 (reacción 5)	0%	4,53%	71,59%	1,14%	9,90%	4,51%	0,26%	3,64%	0%	4,43%	100%
10 (reacción 6)	0%	1,10%	71,59%	1,14%	8,61%	0,23%	0,26%	3,64%	0%	13,43%	100%
10 (reacción 7)	0%	1,10%	71,59%	1,14%	8,61%	0,23%	0,24%	3,64%	0%	13,45%	100%
10 (reacción 8)	0%	0,49%	71,59%	1,14%	7,93%	0,23%	0,24%	0,18%	0%	18,19%	100%
10 salida	0%	0,49%	71,59%	1,14%	7,93%	0,23%	0,24%	0,18%	0%	18,19%	100%
11	0%	0,49%	71,59%	1,14%	7,93%	0,23%	0,24%	0,18%	0%	18,19%	100%
12 (reacción 9)	0%	0,48%	70,17%	1,12%	7,78%	0,22%	0,41%	0,01%	0%	19,81%	100%
12 (reacción 10)	0%	0,37%	70,17%	1,12%	7,78%	0,01%	0,73%	0,01%	0%	19,81%	100%
12 (reacción 11)	0%	0,37%	70,17%	1,12%	7,69%	0,16%	0,04%	0,01%	0%	20,44%	100%
12 salida	0%	0,35%	66,23%	1,06%	12,86%	0,15%	0,03%	0,01%	0%	19,30%	100%
13	0%	0,35%	66,23%	1,06%	12,86%	0,15%	0,03%	0,01%	0%	19,30%	100%
14	0%	0%	0%	0%	40%	0%	0%	0%	0%	60%	100%
15	0%	0%	0%	0%	40%	0%	0%	0%	0%	60%	100%
16 (reacción 1)	0%	5,69%	92,57%	1,48%	0%	0,09%	0,17%	0,01%	0%	0%	100%
16 (reacción 2)	0%	5,69%	92,57%	1,48%	0%	0,09%	0,10%	0,08%	0%	0%	100%
16 salida	0%	5,69%	92,57%	1,48%	0%	0,09%	0,10%	0,08%	0%	0%	100%
17 (reacción 1)	0%	5,68%	92,57%	1,48%	0%	0,08%	0,11%	0,08%	0%	0%	100%
17 (reacción 2)	0%	5,68%	92,57%	1,48%	0%	0,08%	0,01%	0,18%	0%	0%	100%
17 salida	0%	5,68%	92,57%	1,48%	0%	0,08%	0,01%	0,18%	0%	0%	100%
18	0%	5,24%	92,13%	1,47%	0,84%	0,10%	0,03%	0,19%	0%	0%	100%
19	0%	5,24%	92,13%	1,47%	0,84%	0,10%	0,03%	0,19%	0%	0%	100%
20	0%	5,24%	92,13%	1,47%	0,84%	0,10%	0,03%	0,19%	0%	0%	100%
21	0%	5,24%	92,13%	1,47%	0,84%	0,10%	0,03%	0,19%	0%	0%	100%
22	0%	5,26%	92,42%	1,48%	0,85%	-	-	-	0%	0%	100%
23	0%	5,26%	92,42%	1,48%	0,85%	-	-	-	0%	0%	100%
24	0%	5,26%	92,42%	1,48%	0,85%	-	-	-	0%	0%	100%
25	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

26	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
27	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
28	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
29	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
30	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
31	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
32	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
33	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
34	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
35	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
36	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
37	0%	22,70%	74,91%	1,20%	1,19%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
38	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	100%
39	0%	-	-	-	-	0%	0%	0%	0%	0%	100%
40	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%
41	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%
42	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
43	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
44	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
45	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
46	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
47	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
48	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
49	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
50	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
51	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
52	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
53	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
54	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
55	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
56	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
57	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
58	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
59	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
60	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
61	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
62	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
63	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
64	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
65	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
66	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
67	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
68	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
69	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

70	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
71	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

De la misma manera que en el BM, al no poder calcular dichas corrientes, la composición de estas tampoco ha podido ser determinada y quedan reflejadas con “-“.

Con el fin de observar de forma más visual los resultados obtenidos del balance de energía, ir al apartado 3.4 “Simulación de la planta de ácido nítrico

3.3. Balance de energía

El balance de energía (BE) permite calcular la transferencia de calor que se intercambia en los equipos de la presente planta. La ejecución del BE no se determina igual para cada uno de los distintos grupos de equipos.

Se debe de recalcar que los equipos de impulsión, mezclado, filtrado y compresión se han considerado como equipos adiabáticos, es decir, no se produce una transferencia de calor en ellos.

Para llevar a cabo el correspondiente balance de energía de los equipos implicados en la transferencia de calor, se debe de partir de las siguientes condiciones:

- $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}.$
- $P_{amb} = 1\text{ bar}.$
- $HF = 8000\text{ h}.$
- $h_{amb\ 1} = \text{Enthalpy (Ammonia; } T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 2} = \text{Enthalpy (Oxygen; } T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 3} = \text{Enthalpy (Nitrogen; } T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 5} = \text{Enthalpy (Water; } T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 6} = \text{Enthalpy (NO; } T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 7} = \text{Enthalpy (NO}_2; T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 8} = \text{Enthalpy (N}_2\text{O}_4; T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{amb\ 10} = \text{Enthalpy (HNO}_3; T = T_{amb}; P = P_{amb}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$

Estas condiciones se emplean para determinar cuáles son las entalpías ambientales (a temperatura y presión ambiental) de cada componte, así como para determinar cuál es la referencia utilizada y evitar saltos entálpicos que puedan producir errores en los cálculos.

- $h_{ref\ 1} = \frac{-80,3 \cdot 1000}{17} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{ref\ 2} = 0 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$

- $h_{\text{ref } 3} = 0 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{\text{ref } 5} = \frac{-285,8 \cdot 1000}{18} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{\text{ref } 6} = \frac{91,3 \cdot 1000}{30} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{\text{ref } 7} = \frac{33,2 \cdot 1000}{46} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{\text{ref } 8} = \frac{11,1 \cdot 1000}{92} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$
- $h_{\text{ref } 10} = \frac{-174 \cdot 1000}{63} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right).$

Estas entalpías de referencias se han obtenido de tablas termodinámicas y se ha realizado el cambio de unidades oportuno para la correcta resolución del balance de energía en EES.

Se debe de recalcar que:

- $i = 1$: Representa el amoníaco (NH_3).
- $i = 2$: Representa el oxígeno (O_2).
- $i = 3$: Representa el nitrógeno (N_2).
- $i = 4$: Representa los inertes.
- $i = 5$: Representa el agua (H_2O).
- $i = 6$: Representa el óxido de nitrógeno (N_2).
- $i = 7$: Representa el dióxido de nitrógeno (NO_2).
- $i = 8$: Representa el tetraóxido de dinitrógeno (N_2O_4).
- $i = 9$: Representa el fuel oil.
- $i = 10$: Representa el ácido nítrico (HNO_3).

Se debe de tener en cuenta que para la realización de los cálculos del BE se han utilizado los caudales másicos (F_{ij}) obtenidos del BM.

A continuación, se muestra el procedimiento a seguir y las ecuaciones a utilizar para cada uno de los equipos principales implicados en la transferencia de calor, así como los resultados obtenidos para cada uno de ellos.

Para observar de forma detallada los cálculos realizados, se encuentra tanto el código del programa EES, como los resultados obtenidos en el apartado de “ANEXO”.

Con el fin de observar de forma más visual los resultados obtenidos del balance de energía, ir al apartado 3.4 “Simulación de la planta de ácido nítrico

3.3.1 Reactor

Con las condiciones previamente detalladas y sabiendo la evolución que sufre las temperaturas y presiones de las corrientes a lo largo del reactor, se puede determinar la potencia calorífica que se produce en él. Para ello se determina las entalpías de todos los compuestos en las condiciones de operación de las corrientes (T_j y P_j), tanto a la entrada como a la salida.

$$h_{ij} = \text{Enthalpy}(i; T = T_j; P = P_j) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad (3.5)$$

Esta expresión significa la entalpía del compuesto i en la corriente j . El valor de j puede ir desde 1 a 71, representando todas las corrientes de la planta.

Con el fin de que no se produzcan errores en el cálculo de dicho balance de energía se emplea la siguiente expresión:

$$h_{ij_f} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = h_{\text{ref } i} + h_{ij} - h_{\text{amb } i} \quad (3.6)$$

Esta expresión se emplea para calcular las entalpías de todos los compuestos de las corrientes de entradas y salidas con el fin de que los cálculos de todos los compuestos se realicen a partir de la misma referencia.

Para determinar el calor intercambiado en el reactor se emplea la siguiente expresión:

$$\sum (F_{ij} * h_{ij_f})_{\text{entrada}} + Q_{R01} = \sum (F_{ij} * h_{ij_f})_{\text{salida}} \quad (3.7)$$

Siendo:

- F_{ij} : El caudal del compuesto i en la corriente j $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$.
- Q_{R01} : Calor transferido en el reactor $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{día}} \right)$.

Para finalizar el balance de energía de este equipo y determinar el calor intercambiado en kW se emplea la siguiente expresión:

$$Q_{R01}(\text{kW}) = Q_{R01} * \frac{365}{\text{HF} * 3600} = 839,17 \text{ kW}. \quad (3.8)$$

3.3.2 Equipos de transferencia de calor. (Velázquez)

En el caso de los intercambiadores de calor y condensadores, se debe calcular la transferencia energética de forma distinta, dependiendo de si en ellos se producen reacciones debido al enfriamiento de la corriente, o, por el contrario, no se producen reacciones.

En el caso de los intercambiadores de calor donde no se producen ninguna reacción (E 01 y E 02) la metodología a seguir es la siguiente.

Como se conocen las condiciones de operación de las corrientes, el balance de energía de estos intercambiadores se rige por la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Inter}} = F_c * c_{p_c} * (T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}}) \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{Inter}} = F_f * c_{p_f} * (t_{\text{salida}} - t_{\text{entrada}}) \quad (3.10)$$

Donde:

- Q_{Inter} : Calor transferido de la corriente caliente a la corriente fría $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{día}}\right)$.
- F_c : Caudal de entrada del fluido caliente $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- cp_c : Calor específico medio del fluido caliente $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$. Para ello el cp_c se mide a la temperatura media de la corriente, es decir, $T_{\text{media}} = \frac{T_{\text{entrada}} + T_{\text{salida}}}{2}$.
- T_{entrada} : Temperatura de la corriente de entrada del fluido caliente en el intercambiador ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{salida} : Temperatura de la corriente de salida del fluido caliente en el intercambiador ($^{\circ}\text{C}$).
- F_f : Caudal de entrada del fluido frío $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- cp_f : Calor específico medio del fluido frío $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right)$. Para ello el cp_f se mide a la temperatura media de la corriente, es decir, $T_{\text{media}} = \frac{T_{\text{entrada}} + T_{\text{salida}}}{2}$.
- t_{entrada} : Temperatura de la corriente de entrada del fluido frío en el intercambiador ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{salida} : Temperatura de la corriente de salida del fluido frío en el intercambiador ($^{\circ}\text{C}$).

Para finalizar el balance de energía de este quipo y determinar el calor intercambiado en kW se emplea la siguiente expresión:

$$Q_{\text{Inter}}(\text{kW}) = Q_{\text{Inter}} * \frac{365}{\text{HF} * 3600} \quad (3.11)$$

En los intercambiadores que se producen reacciones, como son los que forman parte del tren de intercambiadores (E 03, E 04, E 05), el condensador (E 07) y el intercambiador de precalentamiento de la corriente de gas de cola (E 08), se sigue la misma metodología que la explicada anteriormente para el reactor (R 01) o una mixta entre el procedimiento de cálculo en el reactor y en los intercambiadores sin reacción.

En la Tabla 22 se muestra el calor transferido por cada uno de estos equipos.

Tabla 22 Transferencia de calor en los intercambiadores de calor. Fuente Propia.

Intercambiador	Q (kW)
E 01	100,1
E 02	615,5
E 03	190,6
E 04	1319
E 05	554,3
E 07	2234
E 08	46,88

3.3.3 Equipos de separación (Fernández)

Del mismo modo que en el reactor, tanto en la columna de absorción (CA 01) y en el blanqueador (BL 01) se producen reacciones químicas, por lo que la metodología a seguir es la misma que en el reactor (R 01). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 23 Transferencia de calor en los equipos de separación. Fuente Propia.

Intercambiador	Q (kW)
CA 01	2292
BL 01	190,5

3.4. Simulación de la planta de ácido nítrico

Tras la posterior resolución del balance de materia y balance de energía de la planta de ácido nítrico se procede a la elaboración de la simulación de la planta con el objetivo de observar de manera visual como varían los flujos a lo largo de la correspondiente planta.

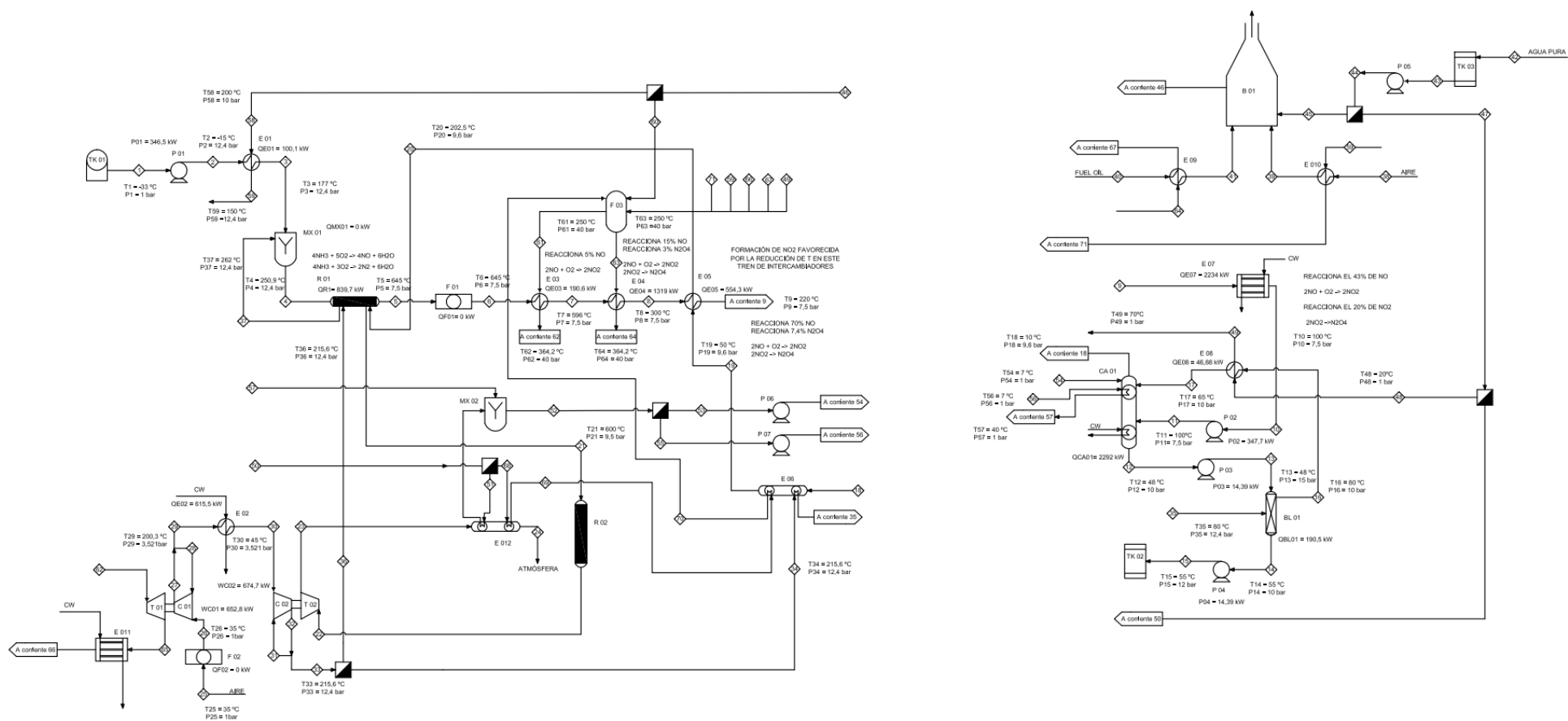


Figura 30 Simulación de la planta.

A continuación, se muestra de forma más detallada la simulación de los equipos principales de la planta de HNO_3 . Para ello, se ha dividido esta implantación por tramos.

3.4.1. Tramo 1

El tramo 1 se corresponde a la simulación de la bomba P 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

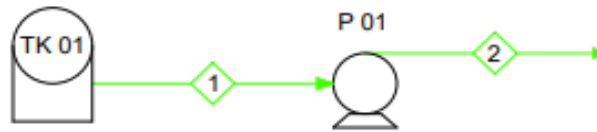


Figura 31 Representación del tramo 1. Fuente Propia.

Tabla 24 Simulación de la planta del tramo 1. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 1)			Salida (Corriente 2)		
$F_{1\text{NH}_3}$	15762	kg/d	$F_{2\text{NH}_3}$	15762	kg/d
$F_{1\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{2\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{1\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{2\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{1\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{2\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{1\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d	$F_{2\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d
$F_{1\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{2\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{1\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{2\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{1\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{2\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{1\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{2\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{1\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{2\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{1\text{Total}}$	15762	kg/d	$F_{2\text{Total}}$	15762	kg/d
T_1	-33	°C	T_2	-15	°C
P_1	1	bar	P_2	12,4	bar
P_{P01}			346,5	kW	

3.4.2. Tramo 2

El tramo 2 se corresponde a la simulación del intercambiador E 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

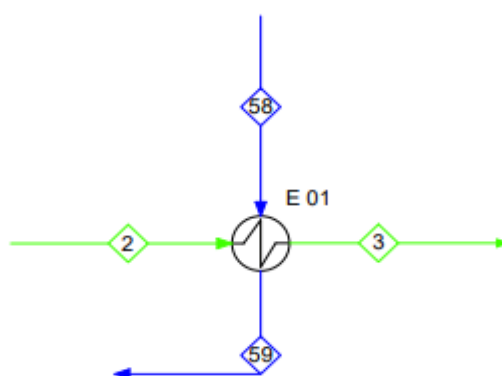


Figura 32 Representación del tramo 2. Fuente Propia.

Tabla 25 Simulación de la planta del tramo 2. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 2)			Salida (Corriente 3)		
$F_{2\text{NH}_3}$	15762	kg/d	$F_{3\text{NH}_3}$	15762	kg/d
$F_{2\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{3\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{2\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{3\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{2\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{3\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{2\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d	$F_{3\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d
$F_{2\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{3\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{2\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{3\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{2\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{3\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{2\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{3\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{2\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{3\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{2\text{Total}}$	15762	kg/d	$F_{3\text{Total}}$	15762	kg/d
T_2	-15	°C	T_3	177	°C
P_2	12,4	bar	P_3	12,4	bar
Entrada (Corriente 58)			Salida (Corriente 59)		
$F_{58\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{59\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{58\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{59\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{58\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{59\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{58\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{59\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{58\text{H}_2\text{O}}$	36014	kg/d	$F_{59\text{H}_2\text{O}}$	36014	kg/d
$F_{58\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{59\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{58\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{59\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{58\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{59\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{58\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{59\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{58\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{59\text{HNO}_3}$	0	kg/d

$F_{58\text{Total}}$	36014	kg/d	$F_{59\text{Total}}$	36014	kg/d
T_{58}	200	°C	T_{59}	150	°C
P_{58}	10	bar	P_{59}	10	bar
Q_{E01}		100,1		kW	

3.4.3. Tramo 3

El tramo 3 se corresponde a la simulación del mezclador MX 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

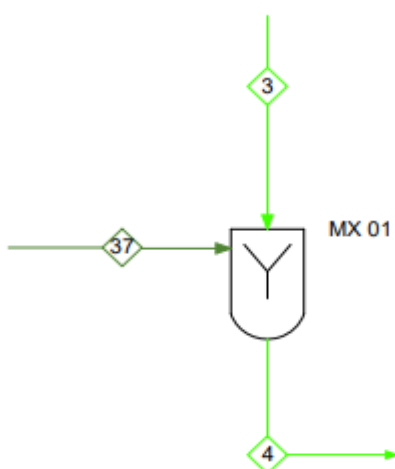


Figura 33 Representación del tramo 3. Fuente Propia.

Tabla 26 Simulación de la planta del tramo 3. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 3)			Entrada (Corriente 37)		
$F_{3\text{NH}_3}$	15762	kg/d	$F_{37\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{3\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{37\text{O}_2}$	57587	kg/d
$F_{3\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{37\text{N}_2}$	190037	kg/d
$F_{3\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{37\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{3\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d	$F_{37\text{H}_2\text{O}}$	3019	kg/d
$F_{3\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{37\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{3\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{37\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{3\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{37\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{3\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{37\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{3\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{37\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{3\text{Total}}$	15762	kg/d	$F_{37\text{Total}}$	253687	kg/d

T ₃	177	°C	T ₃₇	262	°C
P ₃	12,4	bar	P ₃₇	12,4	bar
Salida (Corriente 4)					
F _{4NH₃}		15762		kg/d	
F _{4O₂}		57587		kg/d	
F _{4N₂}		190037		kg/d	
F _{4inert}		3044		kg/d	
F _{4H₂O}		3019		kg/d	
F _{4NO}		0		kg/d	
F _{4NO₂}		0		kg/d	
F _{4N₂O₄}		0		kg/d	
F _{4Fuel Oil}		0		kg/d	
F _{4HNO₃}		0		kg/d	
F _{4Total}		269449		kg/d	
T ₄		250,9		°C	
P ₄		12,4		bar	
Q _{MX01}		0		kW	

3.4.4. Tramo 4

El tramo 4 se corresponde a la simulación del reactor R 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

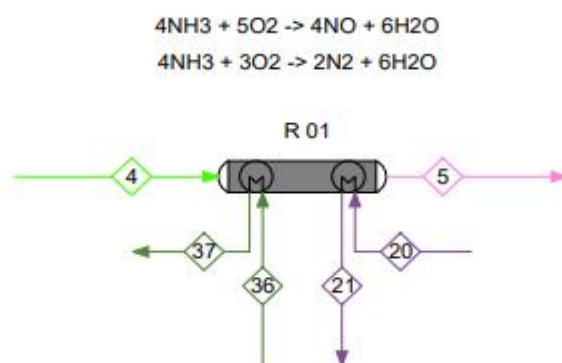


Figura 34 Representación del tramo 4. Fuente Propia.

Tabla 27 Simulación de la planta del tramo 4. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 4)			Salida (Corriente 5)		
$F_{4\text{NH}_3}$	15762	kg/d	$F_{5\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{4\text{O}_2}$	57587	kg/d	$F_{5\text{O}_2}$	21241	kg/d
$F_{4\text{N}_2}$	190037	kg/d	$F_{5\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{4\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{5\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{4\text{H}_2\text{O}}$	3019	kg/d	$F_{5\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d
$F_{4\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{5\text{NO}}$	26425	kg/d
$F_{4\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{5\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{4\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{5\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{4\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{5\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{4\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{5\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{4\text{Total}}$	269449	kg/d	$F_{5\text{Total}}$	269449	kg/d
T_4	250,9	°C	T_5	645	°C
P_4	12,4	bar	P_5	7,5	bar
Entrada (Corriente 36)			Salida (Corriente 37)		
$F_{36\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{37\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{36\text{O}_2}$	57587	kg/d	$F_{37\text{O}_2}$	57587	kg/d
$F_{36\text{N}_2}$	190037	kg/d	$F_{37\text{N}_2}$	190037	kg/d
$F_{36\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{37\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{36\text{H}_2\text{O}}$	3019	kg/d	$F_{37\text{H}_2\text{O}}$	3019	kg/d
$F_{36\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{37\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{36\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{37\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{36\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{37\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{36\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{37\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{36\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{37\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{36\text{Total}}$	253687	kg/d	$F_{37\text{Total}}$	253687	kg/d
T_{36}	215,6	°C	T_{37}	262	°C
P_{36}	12,4	bar	P_{37}	12,4	bar
Entrada (Corriente 20)			Salida (Corriente 21)		
$F_{20\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{21\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{20\text{O}_2}$	13146	kg/d	$F_{21\text{O}_2}$	13146	kg/d
$F_{20\text{N}_2}$	230997	kg/d	$F_{21\text{N}_2}$	230997	kg/d
$F_{20\text{inert}}$	3690	kg/d	$F_{21\text{inert}}$	3690	kg/d
$F_{20\text{H}_2\text{O}}$	2113	kg/d	$F_{21\text{H}_2\text{O}}$	2113	kg/d
$F_{20\text{NO}}$	248	kg/d	$F_{21\text{NO}}$	248	kg/d
$F_{20\text{NO}_2}$	77	kg/d	$F_{21\text{NO}_2}$	77	kg/d
$F_{20\text{N}_2\text{O}_4}$	465	kg/d	$F_{21\text{N}_2\text{O}_4}$	465	kg/d
$F_{20\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{21\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{20\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{21\text{HNO}_3}$	0	kg/d

$F_{20\text{Total}}$	250736	kg/d	$F_{21\text{Total}}$	250736	kg/d
T_{20}	202,5	°C	T_{21}	600	°C
P_{20}	9,6	bar	P_{21}	9,5	bar
Q_{R01}		839,17		kW	

3.4.5. Tramo 5

El tramo 5 se corresponde a la simulación del filtro F 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

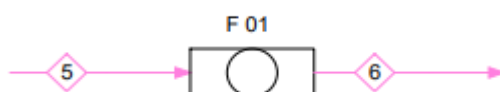


Figura 35 Representación del tramo 5. Fuente Propia.

Tabla 28 Simulación de la planta del tramo 5. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 5)			Salida (Corriente 6)		
$F_{5\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{6\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{5\text{O}_2}$	21241	kg/d	$F_{6\text{O}_2}$	21241	kg/d
$F_{5\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{6\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{5\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{6\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{5\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d	$F_{6\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d
$F_{5\text{NO}}$	26425	kg/d	$F_{6\text{NO}}$	26425	kg/d
$F_{5\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{6\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{5\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{6\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{5\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{6\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{5\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{6\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{5\text{Total}}$	269449	kg/d	$F_{6\text{Total}}$	269449	kg/d
T_5	645	°C	T_6	645	°C
P_5	7,5	bar	P_6	7,5	bar
Q_{F01}		0		kW	

3.4.6. Tramo 6

El tramo 6 se corresponde a la simulación del intercambiador E 03. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

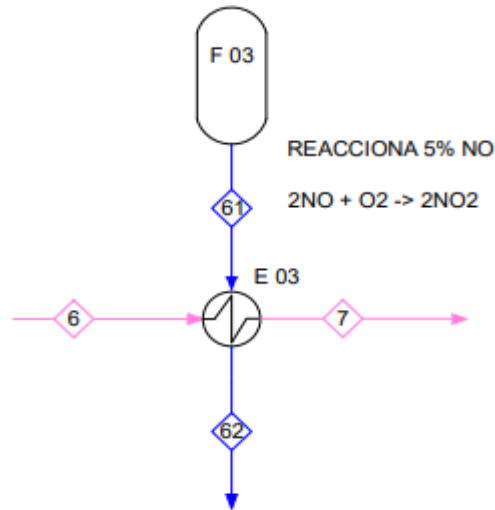


Figura 36 Representación del tramo 6. Fuente Propia.

Tabla 29 Simulación de la planta del tramo 6. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 6)			Salida (Corriente 7)		
$F_{6\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{7\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{6\text{O}_2}$	21241	kg/d	$F_{7\text{O}_2}$	20818	kg/d
$F_{6\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{7\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{6\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{7\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{6\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d	$F_{7\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d
$F_{6\text{NO}}$	26425	kg/d	$F_{7\text{NO}}$	25632	kg/d
$F_{6\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{7\text{NO}_2}$	1216	kg/d
$F_{6\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{7\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{6\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{7\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{6\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{7\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{6\text{Total}}$	269449	kg/d	$F_{7\text{Total}}$	269449	kg/d
T_6	645	°C	T_7	596	°C
P_6	7,5	bar	P_7	7,5	bar
Entrada (Corriente 61)			Salida (Corriente 62)		
$F_{61\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{62\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{61\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{62\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{61\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{62\text{N}_2}$	0	kg/d

$F_{61_{\text{inert}}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{inert}}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{H}_2\text{O}}}$	36014	kg/d	$F_{62_{\text{H}_2\text{O}}}$	36014	kg/d
$F_{61_{\text{NO}}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{NO}}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{HNO}_3}}$	0	kg/d	$F_{62_{\text{HNO}_3}}$	0	kg/d
$F_{61_{\text{Total}}}$	36014	kg/d	$F_{62_{\text{Total}}}$	36014	kg/d
T_{61}	250	°C	T_{62}	364,2	°C
P_{61}	40	bar	P_{62}	40	bar
Q_{E03}		190,6		kW	

3.4.7. Tramo 7

El tramo 7 se corresponde a la simulación del intercambiador E 04. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

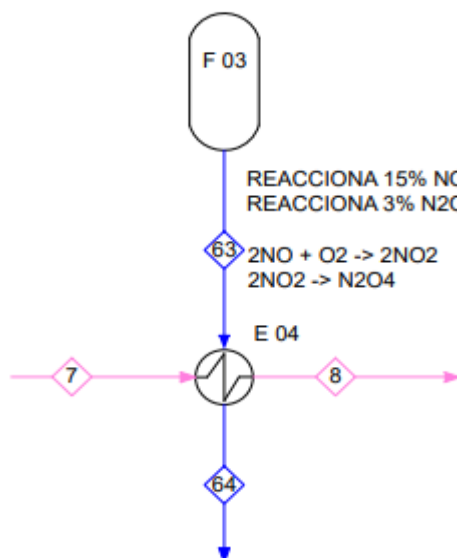


Figura 37 Representación del tramo 7. Fuente Propia.

Tabla 30 Simulación de la planta del tramo 7. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 7)			Salida (Corriente 8)		
$F_{7\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{8\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{7\text{O}_2}$	20818	kg/d	$F_{8\text{O}_2}$	19451	kg/d
$F_{7\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{8\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{7\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{8\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{7\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d	$F_{8\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d
$F_{7\text{NO}}$	25632	kg/d	$F_{8\text{NO}}$	23069	kg/d
$F_{7\text{NO}_2}$	1216	kg/d	$F_{8\text{NO}_2}$	3087	kg/d
$F_{7\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{8\text{N}_2\text{O}_4}$	2058	kg/d
$F_{7\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{8\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{7\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{8\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{7\text{Total}}$	269449	kg/d	$F_{8\text{Total}}$	269448	kg/d
T_7	596	°C	T_8	300	°C
P_7	7,5	bar	P_8	7,5	bar
Entrada (Corriente 63)			Salida (Corriente 64)		
$F_{63\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{64\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{63\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{64\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{63\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{64\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{63\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{64\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{63\text{H}_2\text{O}}$	249220	kg/d	$F_{64\text{H}_2\text{O}}$	249220	kg/d
$F_{63\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{64\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{63\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{64\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{63\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{64\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{63\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{64\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{63\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{64\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{63\text{Total}}$	249220	kg/d	$F_{64\text{Total}}$	249220	kg/d
T_{63}	250	°C	T_{64}	364,2	°C
P_{63}	40	bar	P_{64}	40	bar
QE04			1319	kW	

3.4.8. Tramo 8

El tramo 8 se corresponde a la simulación del intercambiador E 05. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

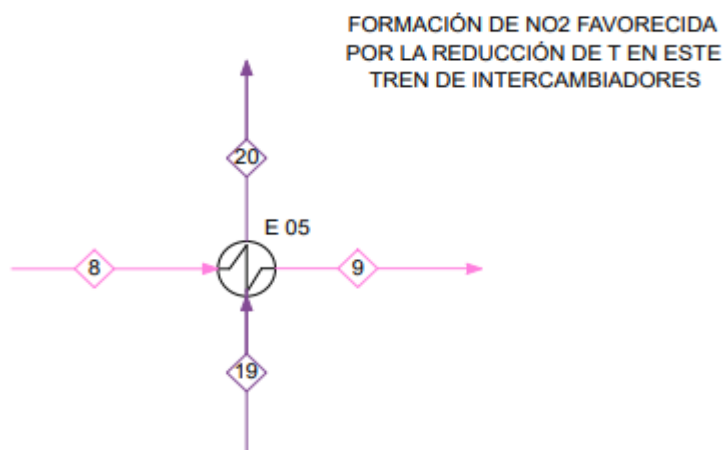


Figura 38 Representación del tramo 8. Fuente Propia.

Tabla 31 Simulación de la planta del tramo 8. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 8)			Salida (Corriente 9)		
$F_{8\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{9\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{8\text{O}_2}$	19451	kg/d	$F_{9\text{O}_2}$	15760	kg/d
$F_{8\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{9\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{8\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{9\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{8\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d	$F_{9\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d
$F_{8\text{NO}}$	23069	kg/d	$F_{9\text{NO}}$	16148	kg/d
$F_{8\text{NO}_2}$	3087	kg/d	$F_{9\text{NO}_2}$	6367	kg/d
$F_{8\text{N}_2\text{O}_4}$	2058	kg/d	$F_{9\text{N}_2\text{O}_4}$	6303	kg/d
$F_{8\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{9\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{8\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{9\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{8\text{Total}}$	269448	kg/d	$F_{9\text{Total}}$	266361	kg/d
T_8	300	°C	T_9	220	°C
P_8	7,5	bar	P_9	7,5	bar
Entrada (Corriente 19)			Salida (Corriente 20)		
$F_{19\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{20\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{19\text{O}_2}$	13146	kg/d	$F_{20\text{O}_2}$	13146	kg/d
$F_{19\text{N}_2}$	230997	kg/d	$F_{20\text{N}_2}$	230997	kg/d
$F_{19\text{inert}}$	3690	kg/d	$F_{20\text{inert}}$	3690	kg/d
$F_{19\text{H}_2\text{O}}$	2113	kg/d	$F_{20\text{H}_2\text{O}}$	2113	kg/d
$F_{19\text{NO}}$	248	kg/d	$F_{20\text{NO}}$	248	kg/d
$F_{19\text{NO}_2}$	77	kg/d	$F_{20\text{NO}_2}$	77	kg/d

$F_{19\text{N}_2\text{O}_4}$	465	kg/d	$F_{20\text{N}_2\text{O}_4}$	465	kg/d
$F_{19\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{20\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{19\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{20\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{19\text{Total}}$	250736	kg/d	$F_{20\text{Total}}$	250736	kg/d
T_{19}	50	°C	T_{20}	202,5	°C
P_{19}	9,6	bar	P_{20}	9,6	bar
Q_{E05}			554,3	kW	

3.4.9. Tramo 9

El tramo 9 se corresponde a la simulación del condensador E 07. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

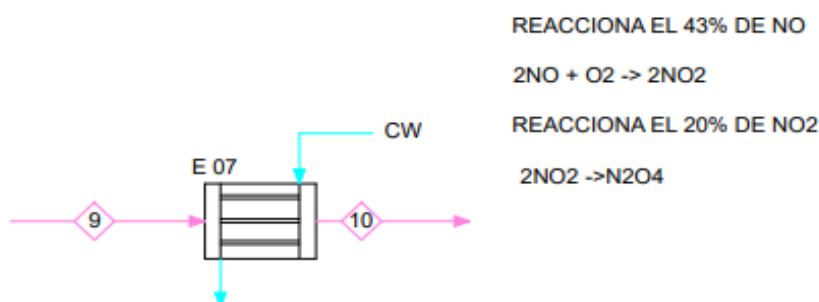


Figura 39 Representación del tramo 9. Fuente Propia.

Tabla 32 Simulación de la planta del tramo 9. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 9)			Salida (Corriente 10)		
$F_{9\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{10\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{9\text{O}_2}$	15760	kg/d	$F_{10\text{O}_2}$	1316	kg/d
$F_{9\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{10\text{N}_2}$	190686	kg/d
$F_{9\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{10\text{inert}}$	3044	kg/d
$F_{9\text{H}_2\text{O}}$	28053	kg/d	$F_{10\text{H}_2\text{O}}$	21131	kg/d
$F_{9\text{NO}}$	16148	kg/d	$F_{10\text{NO}}$	601	kg/d
$F_{9\text{NO}_2}$	6367	kg/d	$F_{10\text{NO}_2}$	647	kg/d
$F_{9\text{N}_2\text{O}_4}$	6303	kg/d	$F_{10\text{N}_2\text{O}_4}$	485	kg/d
$F_{9\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{10\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{9\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{10\text{HNO}_3}$	48452	kg/d
$F_{9\text{Total}}$	266361	kg/d	$F_{10\text{Total}}$	266362	kg/d
T_9	220	°C	T_{10}	100	°C
P_9	7,5	bar	P_{10}	7,5	bar

Entrada			Salida		
F _{agua refriger}	68571	kg/d	F _{agua refriger}	68571	kg/d
T _{agua refriger}	25	°C	T _{agua refriger}	100	°C
P _{agua refriger}	1	bar	P _{agua refriger}	1	bar
Q _{E07}		2234		kW	

3.4.10. Tramo 10

El tramo 10 se corresponde a la simulación de la bomba P 02. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

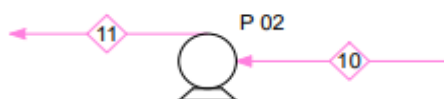


Figura 40 Representación del tramo 10. Fuente Propia.

Tabla 33 Simulación de la planta del tramo 10. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 10)			Salida (Corriente 11)		
F _{10NH₃}	0	kg/d	F _{11NH₃}	0	kg/d
F _{10O₂}	1316	kg/d	F _{11O₂}	1316	kg/d
F _{10N₂}	190686	kg/d	F _{11N₂}	190686	kg/d
F _{10inert}	3044	kg/d	F _{11inert}	3044	kg/d
F _{10H₂O}	21131	kg/d	F _{11H₂O}	21131	kg/d
F _{10NO}	601	kg/d	F _{11NO}	601	kg/d
F _{10NO₂}	647	kg/d	F _{11NO₂}	647	kg/d
F _{10N₂O₄}	485	kg/d	F _{11N₂O₄}	485	kg/d
F _{10Fuel Oil}	0	kg/d	F _{11Fuel Oil}	0	kg/d
F _{10HNO₃}	48452	kg/d	F _{11HNO₃}	48452	kg/d
F _{10Total}	266362	kg/d	F _{11Total}	266362	kg/d
T ₁₀	100	°C	T ₁₁	100	°C
P ₁₀	7,5	bar	P ₁₁	7,5	bar
Q _{P02}		347,7		kW	

3.4.11. Tramo 11

El tramo 11 se corresponde a la simulación de la columna de absorción CA 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

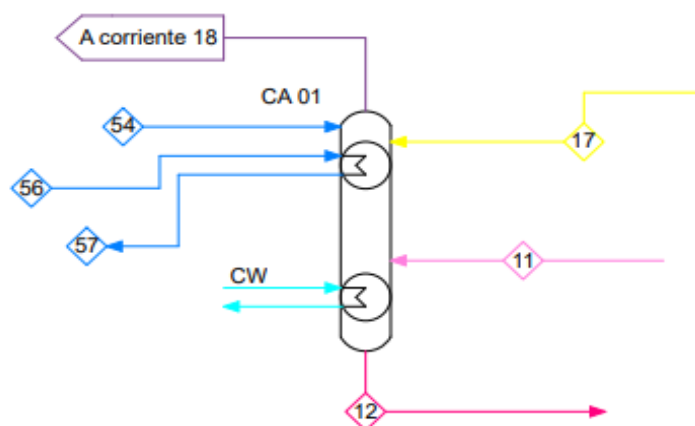


Figura 41 Representación del tramo 11. Fuente Propia.

Tabla 34 Simulación de la planta del tramo 11. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 11)			Salida (Corriente 12)		
$F_{11\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{12\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{11\text{O}_2}$	1316	kg/d	$F_{12\text{O}_2}$	910	kg/d
$F_{11\text{N}_2}$	190686	kg/d	$F_{12\text{N}_2}$	171618	kg/d
$F_{11\text{inert}}$	3044	kg/d	$F_{12\text{inert}}$	2740	kg/d
$F_{11\text{H}_2\text{O}}$	21131	kg/d	$F_{12\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d
$F_{11\text{NO}}$	601	kg/d	$F_{12\text{NO}}$	396	kg/d
$F_{11\text{NO}_2}$	647	kg/d	$F_{12\text{NO}_2}$	89	kg/d
$F_{11\text{N}_2\text{O}_4}$	485	kg/d	$F_{12\text{N}_2\text{O}_4}$	22	kg/d
$F_{11\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{12\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{11\text{HNO}_3}$	48452	kg/d	$F_{12\text{HNO}_3}$	50000	kg/d
$F_{11\text{Total}}$	266362	kg/d	$F_{12\text{Total}}$	259108	kg/d
T_{11}	100	°C	T_{12}	48	°C
P_{11}	7,5	bar	P_{12}	10	bar
Entrada (Corriente 54)			Entrada (Corriente 17)		
$F_{54\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{17\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{54\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{17\text{O}_2}$	13015	kg/d
$F_{54\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{17\text{N}_2}$	211929	kg/d

$F_{54\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{17\text{inert}}$	3386	kg/d
$F_{54\text{H}_2\text{O}}$	5000	kg/d	$F_{17\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d
$F_{54\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{17\text{NO}}$	188	kg/d
$F_{54\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{17\text{NO}_2}$	13	kg/d
$F_{54\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{17\text{N}_2\text{O}_4}$	417	kg/d
$F_{54\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{17\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{54\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{17\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{54\text{Total}}$	5000	kg/d	$F_{17\text{Total}}$	228948	kg/d
T_{54}	7	°C	T_{17}	65	°C
P_{54}	1	bar	P_{17}	10	bar
Entrada (Corriente 56)			Salida (Corriente 57)		
$F_{56\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{57\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{56\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{57\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{56\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{57\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{56\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{57\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{56\text{H}_2\text{O}}$	5000	kg/d	$F_{57\text{H}_2\text{O}}$	5000	kg/d
$F_{56\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{57\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{56\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{57\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{56\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{57\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{56\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{57\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{56\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{57\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{56\text{Total}}$	5000	kg/d	$F_{57\text{Total}}$	5000	kg/d
T_{56}	7	°C	T_{57}	40	°C
P_{56}	1	bar	P_{57}	1	bar
Entrada			Salida		
$F_{\text{agua refriger}}$	5000	kg/d	$F_{\text{agua refriger}}$	5000	kg/d
$T_{\text{agua refriger}}$	20	°C	$T_{\text{agua refriger}}$	40	°C
$P_{\text{agua refriger}}$	1	bar	$P_{\text{agua refriger}}$	1	bar
Q_{CA01}		2292		kW	

3.4.12. Tramo 12

El tramo 12 se corresponde a la simulación de la bomba P 03. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

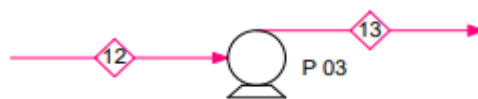


Figura 42 Representación del tramo 12. Fuente Propia.

Tabla 35 Simulación de la planta del tramo 12. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 12)			Salida (Corriente 13)		
$F_{12\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{13\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{12\text{O}_2}$	910	kg/d	$F_{13\text{O}_2}$	910	kg/d
$F_{12\text{N}_2}$	171618	kg/d	$F_{13\text{N}_2}$	171618	kg/d
$F_{12\text{inert}}$	2740	kg/d	$F_{13\text{inert}}$	2740	kg/d
$F_{12\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d	$F_{13\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d
$F_{12\text{NO}}$	396	kg/d	$F_{13\text{NO}}$	396	kg/d
$F_{12\text{NO}_2}$	89	kg/d	$F_{13\text{NO}_2}$	89	kg/d
$F_{12\text{N}_2\text{O}_4}$	22	kg/d	$F_{13\text{N}_2\text{O}_4}$	22	kg/d
$F_{12\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{13\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{12\text{HNO}_3}$	50000	kg/d	$F_{13\text{HNO}_3}$	50000	kg/d
$F_{12\text{Total}}$	259108	kg/d	$F_{13\text{Total}}$	259108	kg/d
T_{12}	48	°C	T_{13}	48	°C
P_{12}	10	bar	P_{13}	15	bar
Q_{P03}			14,39	kW	

3.4.13. Tramo 13

El tramo 13 se corresponde a la simulación del blanqueador BL 01. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

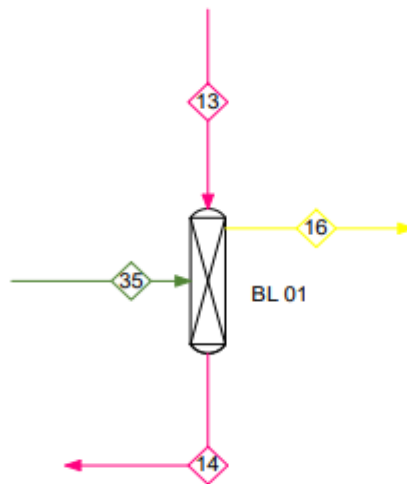


Figura 43 Representación del tramo 13. Fuente Propia.

Tabla 36 Simulación de la planta del tramo 13. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 13)			Salida (Corriente 14)		
$F_{13\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{14\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{13\text{O}_2}$	910	kg/d	$F_{14\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{13\text{N}_2}$	171618	kg/d	$F_{14\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{13\text{inert}}$	2740	kg/d	$F_{14\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{13\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d	$F_{14\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d
$F_{13\text{NO}}$	396	kg/d	$F_{14\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{13\text{NO}_2}$	89	kg/d	$F_{14\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{13\text{N}_2\text{O}_4}$	22	kg/d	$F_{14\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{13\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{14\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{13\text{HNO}_3}$	50000	kg/d	$F_{14\text{HNO}_3}$	50000	kg/d
$F_{13\text{Total}}$	259108	kg/d	$F_{14\text{Total}}$	83333	kg/d
T_{13}	48	°C	T_{14}	55	°C
P_{13}	15	bar	P_{14}	10	bar
Entrada (Corriente 35)			Salida (Corriente 16)		
$F_{35\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{16\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{35\text{O}_2}$	12215	kg/d	$F_{16\text{O}_2}$	13020	kg/d
$F_{35\text{N}_2}$	40311	kg/d	$F_{16\text{N}_2}$	211929	kg/d
$F_{35\text{inert}}$	646	kg/d	$F_{16\text{inert}}$	3386	kg/d
$F_{35\text{H}_2\text{O}}$	640	kg/d	$F_{16\text{H}_2\text{O}}$	0	kg/d

$F_{35\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{16\text{NO}}$	198	kg/d
$F_{35\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{16\text{NO}_2}$	235	kg/d
$F_{35\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{16\text{N}_2\text{O}_4}$	179	kg/d
$F_{35\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{16\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{35\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{16\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{35\text{Total}}$	53812	kg/d	$F_{16\text{Total}}$	228947	kg/d
T_{35}	80	°C	T_{16}	80	°C
P_{35}	14,4	bar	P_{16}	10	bar
Q_{BL01}		190,5		kW	

3.4.14. Tramo 14

El tramo 14 se corresponde a la simulación de la bomba P 04. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

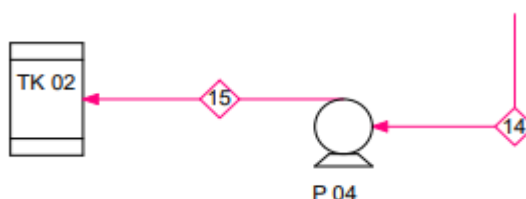


Figura 44 Representación del tramo 14. Fuente Propia.

Tabla 37 Simulación de la planta del tramo 14. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 14)			Salida (Corriente 15)		
$F_{14\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{15\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{14\text{O}_2}$	0	kg/d	$F_{15\text{O}_2}$	0	kg/d
$F_{14\text{N}_2}$	0	kg/d	$F_{15\text{N}_2}$	0	kg/d
$F_{14\text{inert}}$	0	kg/d	$F_{15\text{inert}}$	0	kg/d
$F_{14\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d	$F_{15\text{H}_2\text{O}}$	33333	kg/d
$F_{14\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{15\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{14\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{15\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{14\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{15\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{14\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{15\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{14\text{HNO}_3}$	50000	kg/d	$F_{15\text{HNO}_3}$	50000	kg/d
$F_{14\text{Total}}$	83333	kg/d	$F_{15\text{Total}}$	83333	kg/d

T_{14}	55	°C	T_{15}	55	°C
P_{14}	10	bar	P_{15}	12	bar
Q_{P04}		14,39		kW	

3.4.15. Tramo 15

El tramo 15 se corresponde a la simulación del intercambiador E 08. A continuación, se muestra la representación y los valores obtenidos para dicho tramo.

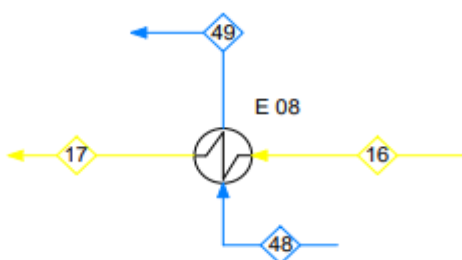


Figura 45 Representación del tramo 15. Fuente Propia.

Tabla 38 Simulación de la planta del tramo 15. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 16)			Salida (Corriente 17)		
F_{16NH_3}	0	kg/d	F_{17NH_3}	0	kg/d
F_{16O_2}	13020	kg/d	F_{17O_2}	13015	kg/d
F_{16N_2}	211929	kg/d	F_{17N_2}	211929	kg/d
$F_{16inert}$	3386	kg/d	$F_{17inert}$	3386	kg/d
F_{16H_2O}	0	kg/d	F_{17H_2O}	0	kg/d
F_{16NO}	198	kg/d	F_{17NO}	188	kg/d
F_{16NO_2}	235	kg/d	F_{17NO_2}	13	kg/d
$F_{16N_2O_4}$	179	kg/d	$F_{17N_2O_4}$	417	kg/d
$F_{16Fuel\ Oil}$	0	kg/d	$F_{17Fuel\ Oil}$	0	kg/d
F_{16HNO_3}	0	kg/d	F_{17HNO_3}	0	kg/d
$F_{16Total}$	228947	kg/d	$F_{17Total}$	228948	kg/d
T_{16}	80	°C	T_{17}	65	°C
P_{16}	10	bar	P_{17}	10	bar
Entrada (Corriente 48)			Salida (Corriente 49)		
F_{48NH_3}	0	kg/d	F_{49NH_3}	0	kg/d
F_{48O_2}	0	kg/d	F_{49O_2}	0	kg/d
F_{48N_2}	0	kg/d	F_{49N_2}	0	kg/d

$F_{48_{\text{inert}}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{inert}}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{H}_2\text{O}}}$	17676	kg/d	$F_{49_{\text{H}_2\text{O}}}$	17676	kg/d
$F_{48_{\text{NO}}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{NO}}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{HNO}_3}}$	0	kg/d	$F_{49_{\text{HNO}_3}}$	0	kg/d
$F_{48_{\text{Total}}}$	17676	kg/d	$F_{49_{\text{Total}}}$	17676	kg/d
T_{48}	20	°C	T_{49}	70	°C
P_{48}	1	bar	P_{49}	1	bar
Q_{E08}		46,88		kW	

3.4.16. Tramo 16

El tramo 16 se corresponde a la simulación del filtro F 02.

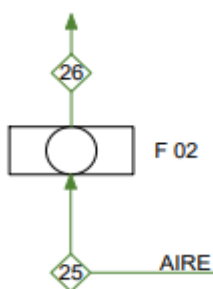


Figura 46 Representación del tramo 16. Fuente Propia.

Tabla 39 Simulación de la planta del tramo 16. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 25)			Salida (Corriente 26)		
$F_{25_{\text{NH}_3}}$	0	kg/d	$F_{26_{\text{NH}_3}}$	0	kg/d
$F_{25_{\text{O}_2}}$	69803	kg/d	$F_{26_{\text{O}_2}}$	69803	kg/d
$F_{25_{\text{N}_2}}$	230348	kg/d	$F_{26_{\text{N}_2}}$	230348	kg/d
$F_{25_{\text{inert}}}$	3690	kg/d	$F_{26_{\text{inert}}}$	3690	kg/d
$F_{25_{\text{H}_2\text{O}}}$	3659	kg/d	$F_{26_{\text{H}_2\text{O}}}$	3659	kg/d
$F_{25_{\text{NO}}}$	0	kg/d	$F_{26_{\text{NO}}}$	0	kg/d
$F_{25_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d	$F_{26_{\text{NO}_2}}$	0	kg/d
$F_{25_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d	$F_{26_{\text{N}_2\text{O}_4}}$	0	kg/d
$F_{25_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d	$F_{26_{\text{Fuel Oil}}}$	0	kg/d

$F_{25\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{26\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{25\text{Total}}$	307500	kg/d	$F_{26\text{Total}}$	307500	kg/d
T_{25}	35	°C	T_{26}	35	°C
P_{25}	1	bar	P_{26}	1	bar
Q_{F02}		0		kW	

3.4.17. Tramo 17

El tramo 17 se corresponde a la simulación del sistema de compresión con enfriamiento intermedio.

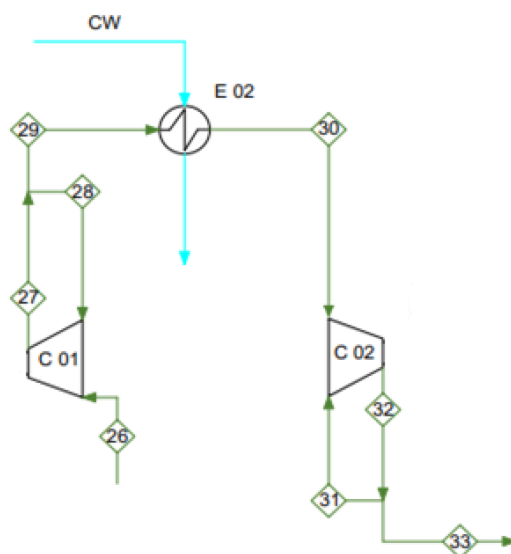


Figura 47 Representación del tramo 17. Fuente Propia.

Tabla 40 Simulación de la planta del tramo 17. Fuente Propia.

Entrada (Corriente 26)			Salida (Corriente 29)		
$F_{26\text{NH}_3}$	0	kg/d	$F_{29\text{NH}_3}$	0	kg/d
$F_{26\text{O}_2}$	69803	kg/d	$F_{29\text{O}_2}$	69803	kg/d
$F_{26\text{N}_2}$	230348	kg/d	$F_{29\text{N}_2}$	230348	kg/d
$F_{26\text{inert}}$	3690	kg/d	$F_{29\text{inert}}$	3690	kg/d
$F_{26\text{H}_2\text{O}}$	3659	kg/d	$F_{29\text{H}_2\text{O}}$	3659	kg/d
$F_{26\text{NO}}$	0	kg/d	$F_{29\text{NO}}$	0	kg/d
$F_{26\text{NO}_2}$	0	kg/d	$F_{29\text{NO}_2}$	0	kg/d
$F_{26\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d	$F_{29\text{N}_2\text{O}_4}$	0	kg/d
$F_{26\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d	$F_{29\text{Fuel Oil}}$	0	kg/d
$F_{26\text{HNO}_3}$	0	kg/d	$F_{29\text{HNO}_3}$	0	kg/d
$F_{26\text{Total}}$	307500	kg/d	$F_{29\text{Total}}$	307500	kg/d
T_{26}	35	°C	T_{29}	200,3	°C
P_{26}	1	bar	P_{29}	3,521	bar

Q _{C01}			652,8		kW	
Entrada (Corriente 29)			Salida (Corriente 30)			
F _{29NH₃}	0	kg/d	F _{30NH₃}	0	kg/d	
F _{29O₂}	69803	kg/d	F _{30O₂}	69803	kg/d	
F _{29N₂}	230348	kg/d	F _{30N₂}	230348	kg/d	
F _{29inert}	3690	kg/d	F _{30inert}	3690	kg/d	
F _{29H₂O}	3659	kg/d	F _{30H₂O}	3659	kg/d	
F _{29NO}	0	kg/d	F _{30NO}	0	kg/d	
F _{29NO₂}	0	kg/d	F _{30NO₂}	0	kg/d	
F _{29N₂O₄}	0	kg/d	F _{30N₂O₄}	0	kg/d	
F _{29Fuel Oil}	0	kg/d	F _{30Fuel Oil}	0	kg/d	
F _{29HNO₃}	0	kg/d	F _{30HNO₃}	0	kg/d	
F _{29Total}	307500	kg/d	F _{30Total}	307500	kg/d	
T ₂₉	200,3	°C	T ₃₀	45	°C	
P ₂₉	3,521	bar	P ₃₀	3,521	bar	
Q _{E02}			615,5		kW	
Entrada (Corriente 30)			Salida (Corriente 33)			
F _{30NH₃}	0	kg/d	F _{33NH₃}	0	kg/d	
F _{30O₂}	69803	kg/d	F _{33O₂}	69803	kg/d	
F _{30N₂}	230348	kg/d	F _{33N₂}	230348	kg/d	
F _{30inert}	3690	kg/d	F _{33inert}	3690	kg/d	
F _{30H₂O}	3659	kg/d	F _{33H₂O}	3659	kg/d	
F _{30NO}	0	kg/d	F _{33NO}	0	kg/d	
F _{30NO₂}	0	kg/d	F _{33NO₂}	0	kg/d	
F _{30N₂O₄}	0	kg/d	F _{33N₂O₄}	0	kg/d	
F _{30Fuel Oil}	0	kg/d	F _{33Fuel Oil}	0	kg/d	
F _{30HNO₃}	0	kg/d	F _{33HNO₃}	0	kg/d	
F _{30Total}	307500	kg/d	F _{33Total}	307500	kg/d	
T ₃₀	45	°C	T ₃₃	215,6	°C	
P ₃₀	3,521	bar	P ₃₃	12,4	bar	
Q _{C02}			674,7		kW	

3.5. Lista de equipos

La lista de equipos principales de la planta de HNO_3 se muestran a continuación:

Tabla 41 Lista de equipos principales. Fuente Propia.

Lista de equipos Principales		
Tag	Equipo	Función
TK 01	Esfera de almacenamiento	Almacenamiento y suministro de materia prima
TK 02	Tanque de almacenamiento de productos	Almacenamiento de producto final (HNO_3)
E 01	Intercambiador de calor	Evaporador Kettler que se encarga de producir el cambio de fase de líquido a gas del NH_3
E 02	Intercambiador de calor	Intercambiador de calor intermedio entre los compresores para refrigerar la corriente tras el paso por C 01
E 03	Intercambiador de calor	Tren de intercambiadores de calor, donde producen las diferentes reacciones debido a la disminución de la temperatura a su paso con el fin de que la corriente principal se encuentre en las condiciones de operación óptima para la posterior obtención de HNO_3
E 04	Intercambiador de calor	
E 05	Intercambiador de calor	
E 06	Intercambiador de calor	
E 07	Condensador	Refrigeración de la corriente principal para que dicho flujo esté en las condiciones de operación estipuladas
E 08	Intercambiador de calor	Transferir calor de los NO_x que salen del blanqueador al agua de enfriamiento
R 01	Reactor	Oxidación de amoníaco en aire
MX 01	Mezclador	Mezcla la corriente de amoníaco y gas en la relación y condiciones de operación adecuadas para maximizar el rendimiento del reactor
CA 01	Columna de absorción	Absorbe óxidos de nitrógenos con el fin de formar el ácido
BL 01	Blanqueador	Retirar NO_x de la corriente del producto, para que este no contenga impurezas
F 01	Filtro de amoníaco	Eliminar impurezas o partículas sólidas que pueda contener la corriente de NH_3
F 02	Filtro de aire	Eliminar partículas sólidas en suspensión provenientes de la corriente de aire
C 01	Compresor	Sistema de compresión con el fin de alimentar aire al proceso en las condiciones de operación estipuladas
C 02	Compresor	

3.6. Dimensionamiento de equipos

En este apartado se realiza el dimensionamiento de los equipos principales de la planta de ácido nítrico, para observar con mayor detalle los cálculos ir al apartado ANEXO”. Los resultados representativos y especificaciones necesarias para los proveedores se muestran en el apartado “Hojas de especificaciones”.

3.6.1. Tanques

Los tanques de almacenamiento son unos recipientes, generalmente de forma cilíndrica, que se emplean para almacenar gases o líquidos en unas determinadas condiciones.

Estos tanques se emplean comúnmente en la industria química debido a que preservan y guardan las diferentes materias primas, productos y subproductos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta.

- **TK 01. (Llagaria, 2016)**

TK 01 hace referencia a la esfera de almacenamiento de amoníaco. Para el correcto dimensionamiento de este equipo se debe de tener en cuenta que el amoníaco (NH_3) almacenado se debe de encontrar en estado líquido. La ecuación que define el dimensionamiento de la esfera es la siguiente:

$$\rho_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{V_{\text{NH}_3}} \quad (3.12)$$

Donde:

- ρ_{NH_3} : Densidad del amoníaco en las condiciones óptimas para el almacenamiento (kg/m^3).
- m_{NH_3} : Cantidad de amoníaco a almacenar (kg).
- V_{NH_3} : Volumen de amoníaco a almacenar.

Debido a las condiciones de almacenamiento (T y P) y empleando el diagrama de Mollier, $\rho_{\text{NH}_3} = 698,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Para determinar m_{NH_3} se emplea la siguiente ecuación:

$$m_{\text{NH}_3} = F_1 * 243 \quad (3.13)$$

Donde:

- F_1 : Caudal másico de amoníaco en la corriente de proceso, siendo $F_1 = 15762 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$.
- 243 son los días que se trabajan en 1 año (equivalente al tiempo de operación).

Una vez determinado estos parámetros y despejando en la ecuación (3.12), se obtiene V_{NH_3} .

Por seguridad se define que la capacidad de la esfera de almacenamiento es de 0,86. Para obtener el volumen total de la esfera de almacenamiento se emplea la ecuación (3.14).

$$V_{\text{total}} = \frac{V_{\text{NH}_3}}{\text{capacidad}} \quad (3.14)$$

Una vez determinado el V_{total} , se pueden calcular los parámetros de interés para obtener el dimensionamiento de la esfera, sabiendo que:

$$V_{total} = A_{esfera} * H_{esfera} \quad (3.15)$$

Donde:

- A_{esfera} : Área de la esfera de almacenamiento (m^2).
- H_{esfera} : Altura de la esfera de almacenamiento (m).

Sabiendo que la ecuación para determinar el área es:

$$A_{esfera} = \frac{\pi * D_{esfera}^2}{4} \quad (3.16)$$

Debido a que el producto se considera como inflamable de clase A1 según ITC MIE-AQP 1, el diámetro mínimo establecido, $D_{esfera} = 25$ m.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación (3.15), se obtiene que $H_{esfera} = 12,99$ m.

• TK 02

TK 02 hace referencia al tanque de almacenamiento de producto de la planta (HNO_3 con una concentración del 60 %). Para el correcto dimensionamiento de este equipo se debe de tener en cuenta que la corriente del producto se encuentra almacenado en estado líquido. La ecuación que define el dimensionamiento del tanque de almacenamiento es la siguiente:

$$\rho_{prod} = \frac{m_{prod}}{V_{prod}} \quad (3.17)$$

Donde:

- ρ_{prod} : Densidad del ácido nítrico con una concentración del 60 % y agua en las condiciones óptimas para el almacenamiento (kg/m^3).
- m_{prod} : Cantidad de producto a almacenar (kg).
- V_{prod} : Volumen de producto a almacenar (m^3).

Debido a las condiciones de almacenamiento (T y P) la ρ_{prod} se ha determinado mediante el EES.

Para determinar m_{prod} se emplea la siguiente ecuación:

$$m_{prod} = F_{15} * 2 \quad (3.18)$$

Donde:

- F_{15} : Caudal másico del producto en la corriente de proceso, siendo $F_{15} = 83333 \frac{kg}{día}$.
- 2 son los días en el que el tanque puede almacenar esa cantidad de producto (tiempo de almacenamiento). Posteriormente, se comercializa.

Una vez determinado estos parámetros y despejando en la ecuación (3.17), se obtiene V_{prod}

Determinando que la capacidad del tanque de almacenamiento es 0,86, se obtiene que el volumen total del tanque de almacenamiento se rige por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{total}} = \frac{V_{\text{prod}}}{\text{capacidad}} \quad (3.19)$$

Con V_{total} determinado, se impone que existen 3 tanques para el almacenamiento del producto, por lo que el volumen de cada uno de los tanques se rige por:

$$V_{\text{tanque}} = \frac{V_{\text{total}}}{3} \quad (3.20)$$

Una vez determinado el V_{tanque} , se pueden calcular los parámetros de interés para obtener el dimensionamiento del tanque, sabiendo que:

$$V_{\text{tanque}} = A_{\text{tanque}} * H_{\text{tanque}} \quad (3.21)$$

Donde:

- A_{tanque} : Área del tanque de almacenamiento (m^2).
- H_{tanque} : Altura del tanque de almacenamiento (m).

Se determina que $H_{\text{tanque}} = 10$ m, debido a las condiciones que debe de poseer y a las condiciones de transporte, para cada uno de los 3 tanques de almacenamiento del producto.

Tras imponer H_{tanque} , se determina el A_{tanque} , y, por lo tanto, se puede calcular el D_{tanque} utilizando la siguiente ecuación:

$$A_{\text{tanque}} = \frac{\pi * D_{\text{tanque}}^2}{4} \quad (3.22)$$

Despejando de la ecuación anterior, se obtiene que el diámetro para cada uno de los tanques es de $D_{\text{tanque}} = 22,79$ m.

3.6.2. Intercambiadores de calor. (Velázquez)

Los intercambiadores de calor son equipos que permiten la transferencia de calor entre dos fluidos, ya sea mediante contacto directo o separados mediante una barra sólida. Estos equipos se utilizan ampliamente en la industria química para conseguir las condiciones de operaciones estimadas. Además, estos equipos son esenciales para la climatización o refrigeración, acondicionamiento de aire y producción de energía.

- **E 01**

El intercambiador E 01 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de NH_3 y otra de H_2O . Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas mediante referencias o impuestas.

$$T_2 = -15^\circ\text{C}$$

$$P_2 = 12,4 \text{ bar}$$

$$T_3 = 177\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_3 = 12,4\text{ bar}$$

$$T_{58} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{58} = 10\text{ bar}$$

$$T_{59} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{59} = 10\text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), se utilizó las ecuaciones (3.9) y (3.10) para obtener $Q_{E01} = 100\text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E01} * 1000 = A_{E01} * U_{E01} * F_{E01} * DTLM_{E01} \quad (3.23)$$

Donde:

- Q_{E01} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E01} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E01} : Coeficiente global de transferencia ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$).
- $DTLM_{E01}$: Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E01} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la $DTLM_{E01}$, para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

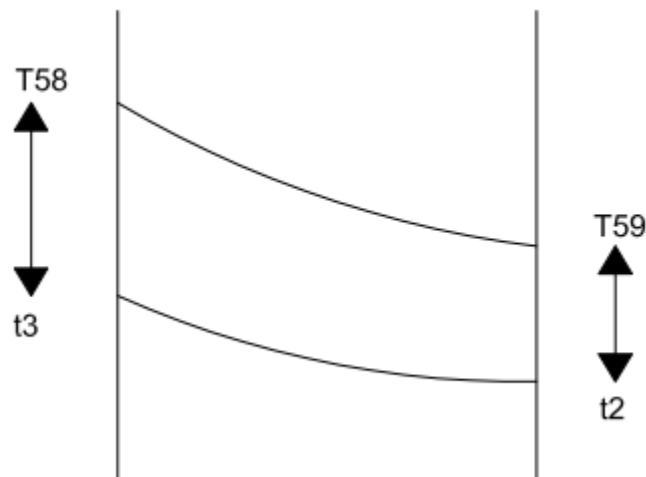


Figura 48 DTLM del intercambiador E 01. Fuente Propia.

$$DTLM_{E01} = \frac{(T_{58}-t_3)-(T_{59}-t_2)}{\ln \frac{(T_{58}-t_3)}{(T_{59}-t_2)}} \quad (3.24)$$

Donde:

- T_{58} : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{59} : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- t_2 : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).
- t_3 : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).

Se obtiene que $\text{DTLM}_{E01} = 72,06 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir consiste en realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E01}). Se debe de tener en cuenta que F_{E01} es un parámetro que depende de R_{E01} y P_{E01} .

$$R_{E01} = \frac{T_{58}-T_{59}}{t_3-t_2} \quad (3.25)$$

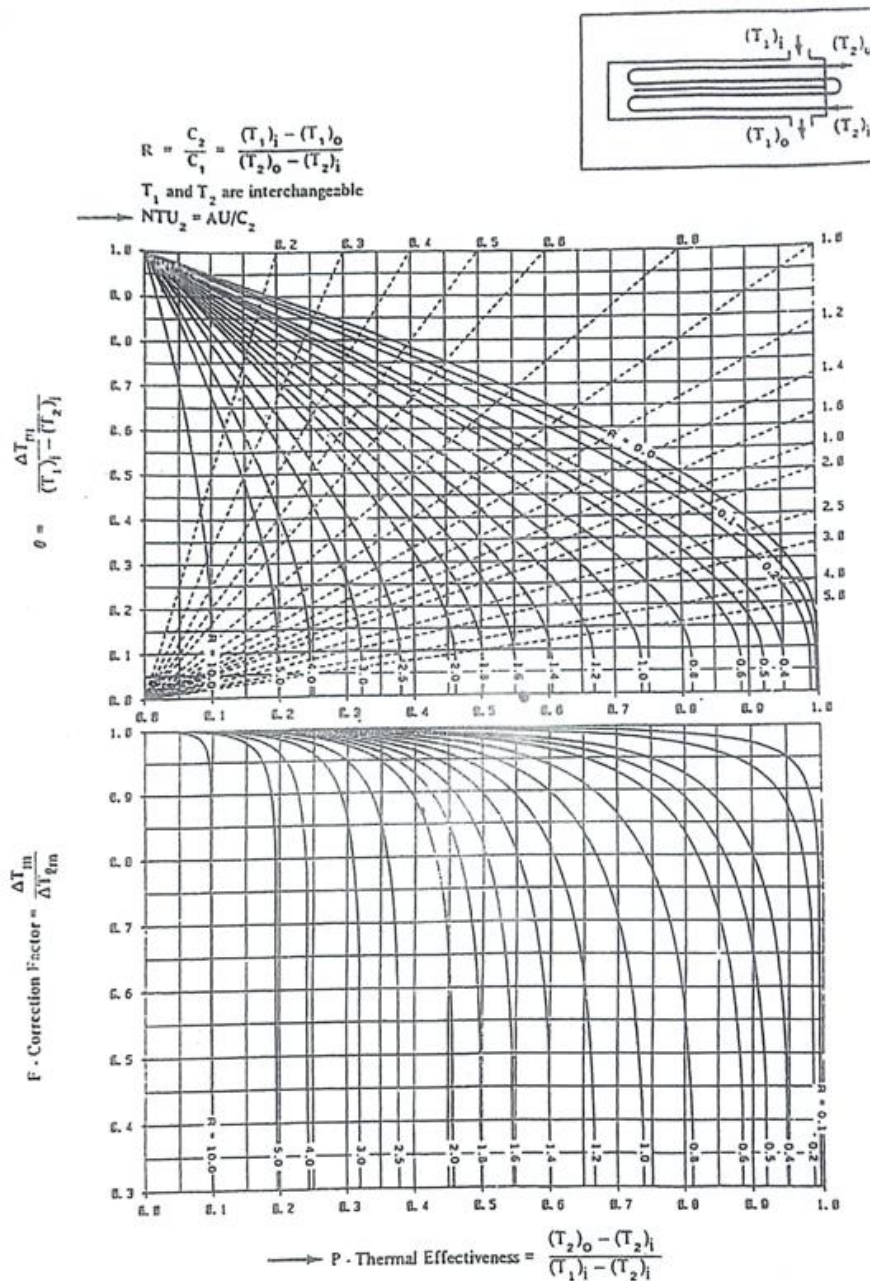
$$P_{E01} = \frac{t_3-t_2}{T_{58}-t_2} \quad (3.26)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E01} = 0,2604$$

$$P_{E01} = 0,893$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E01} .



Gráfica 4.1.2: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 49 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E01} = 0,97$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E01}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E01} = \frac{1}{\frac{D_{ext E01}}{D_{int E01}} \left(\frac{1}{h_{int E01}} + F_{s int E01} \right) + \frac{1}{h_{ext E01}} + F_{s ext E01}} \quad (3.27)$$

Donde:

- $D_{\text{ext E01}}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{\text{int E01}}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{\text{int E01}}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $h_{\text{ext E01}}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $F_{s \text{ int E01}}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.
- $F_{s \text{ ext E01}}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s \text{ int E01}} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$F_{s \text{ ext E01}} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$D_{\text{ext E01}} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{\text{int E01}}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{\text{ext E01}}$.

Tabla 42 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick-ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Steel Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0333	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	56	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0962	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.233	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.246	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.163	.0511
1/2	22	.028	.1548	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.407	.0061	.0197	.1864	203	1.536	.177
5/8	14	.085	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	16	.063	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1928	258	1.362	.141
5/8	18	.050	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	20	.045	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1992	300	1.263	.114
5/8	22	.038	.2025	.1636	.1333	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	24	.030	.2121	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	26	.022	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	28	.015	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.154	.1825	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.471	.238
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.339	.196
3/4	14	.083	.2676	.1963	.1529	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.058	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.050	.3239	.1963	.1707	.387	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1780	.269	.680	.0050	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2892	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.312
7/8	11	.120	.3166	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	12	.109	.3350	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.322	.262
7/8	13	.095	.3585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.233
7/8	14	.083	.3848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	16	.065	.4359	.2291	.1950	.561	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.4742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.127
7/8	20	.035	.5090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.087	.092
1	8	.125	.3526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	550	1.493	.420
1	10	.104	.4206	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.090	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.332
1	12	.079	.4833	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.065	.5153	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.053	.5463	.2618	.2187	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.042	.5755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.035	.5945	.2618	.2276	.649	.870	.0210	.0419	.3314	927	1.149	.191
1	18	.028	.6320	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0322	.3366	997	1.109	.146
1	20	.025	.6793	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.4221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.404	.605
1-1/4	8	.145	.4540	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1037	1.359	.565
1-1/4	10	.124	.5174	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.110	.5612	.3272	.2644	1.448	1.010	.0689	.1100	.4018	1250	1.228	.426
1-1/4	12	.099	.6055	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.085	.6425	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.073	.6828	.3272	.2838	1.032	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	16	.055	.7472	.3272	.2932	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	18	.048	.7842	.3272	.3016	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.045	.8092	.3272	.3089	.456	1.180	.0247	.0395	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	.4192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1254	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.119	.4591	.3927	.3356	1.618	1.282	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.093	.5139	.3927	.3492	1.258	1.334	.0921	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	.5474	.3927	.3587	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.432	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.126	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2566	.2586	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	2.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.8332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2834#/Inch³. For other metals multiply by the following factors:

Aluminum	0.35	Nickel-Chrome-Iron	1.07
A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels	0.99	Admiralty	1.09
A.I.S.I. 200 Series Stainless Steels	1.02	Nickel and Nickel-Copper	1.13
Aluminum Bronze	1.04	Copper and Cupro-Nickels	1.14
Aluminum Brass	1.06		

**Liquid Velocity = $\frac{\text{Lbs. Per Tube Per Hour}}{C \times \text{S.P. OR. of Liquid}}$ In feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext } E01}}{D_{\text{int } E01}} = 1,134 \quad (3.28)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int } E01} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externo ($h_{\text{ext } E01}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext } E01} = v_{E01}^{0,55} \quad (3.29)$$

Siendo v_{E01} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E01}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int } E01}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{E01} = \frac{h_{int\ E01} * D_{int\ E01}}{K_{E01}} \quad (3.30)$$

Donde:

- Nu_{E01} : Número de Nusselt para el intercambiador E 01.
- K_{E01} : Conductividad térmica del intercambiador E 01.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente en la Tabla 43.

$$Re_{E01} = \frac{4 * F_2 * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int\ E01} * \mu_{E01} * \frac{N_{tubos\ E01}}{N_{pasos\ E01}}} \quad (3.31)$$

Donde:

- F_2 : Flujo de corriente de proceso (NH_3) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF : Horas de funcionamiento.
- μ_{E01} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos\ E01}$: Número de tubos del intercambiador E 01.
- $N_{pasos\ E01}$: Número de pasos del intercambiador E 01.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos\ E01} = 450$$

$$N_{pasos\ E01} = 4$$

El valor de F_2 es el que se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_2 = 15762$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E01} presenta un valor bajo, se determina que se encuentra en régimen laminar y, por lo tanto, $Nu_{E01} = 3,66$.

Tabla 43 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$\bar{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$\bar{Nu}_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr/(L/D)]^{1/3} (\mu/\mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu/\mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{1/2} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales liq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_D < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales liq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .

- Para las correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.

- Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.

- Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

Tras este breve cálculo y sustituyendo en las ecuaciones (3.27) y (3.30) se determinan $h_{int E01}$ y U_{E01} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 01, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E01} = \frac{A_{E01}}{N_{carcasa E01}} \quad (3.32)$$

Se impone que $N_{carcasa E01} = 2$, este valor se obtiene de la Figura 49. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E01} = \pi * D_{ext E01} * L_{E01} * N_{carcasa E01} \quad (3.33)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E01} = 1,7$ m.

• E 02

El intercambiador E 02 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de aire y otra de H_2O de refrigeración. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_{29} = 200,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{29} = 3,521 \text{ bar}$$

$$T_{30} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$P_{30} = 3,521 \text{ bar}$$

$$T_{\text{refrig agua entrada}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{refrig agua entrada}} = 1 \text{ bar}$$

$$T_{\text{refrig agua salida}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{refrig agua salida}} = 1 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), se utilizó las ecuaciones (3.9) y (3.10) para obtener $Q_{E02} = 615,5 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E02} * 1000 = A_{E02} * U_{E02} * F_{E02} * DTLM_{E02} \quad (3.34)$$

Donde:

- Q_{E02} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E02} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E02} : Coeficiente global de transferencia ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$).
- $DTLM_{E02}$: Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E02} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la $DTLM_{E02}$, para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

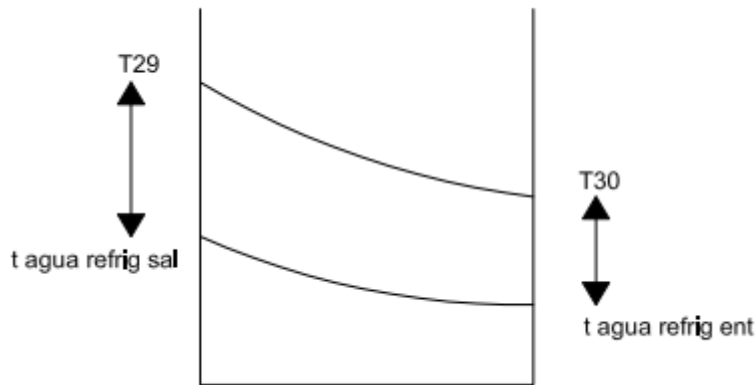


Figura 50 DTLM del intercambiador E 02. Fuente Propia.

$$DTLM_{E02} = \frac{(T_{29} - t_{\text{refrig agua salida}}) - (T_{30} - t_{\text{refrig agua entrada}})}{\ln \frac{(T_{29} - t_{\text{refrig agua salida}})}{(T_{30} - t_{\text{refrig agua entrada}})}} \quad (3.35)$$

Donde:

- T_{29} : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{30} : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).

- $t_{\text{refrig agua entrada}}$: Temperatura de entrada del fluido frío (°C).
- $t_{\text{refrig agua salida}}$: Temperatura de salida del fluido frío (°C).

Se obtiene que $DTLM_{E02} = 49,8 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E02}). Se debe de tener en cuenta que F_{E02} es un parámetro que depende de R_{E02} y P_{E02} .

$$R_{E02} = \frac{T_{29} - T_{30}}{t_{\text{refrig agua salida}} - t_{\text{refrig agua entrada}}} \quad (3.36)$$

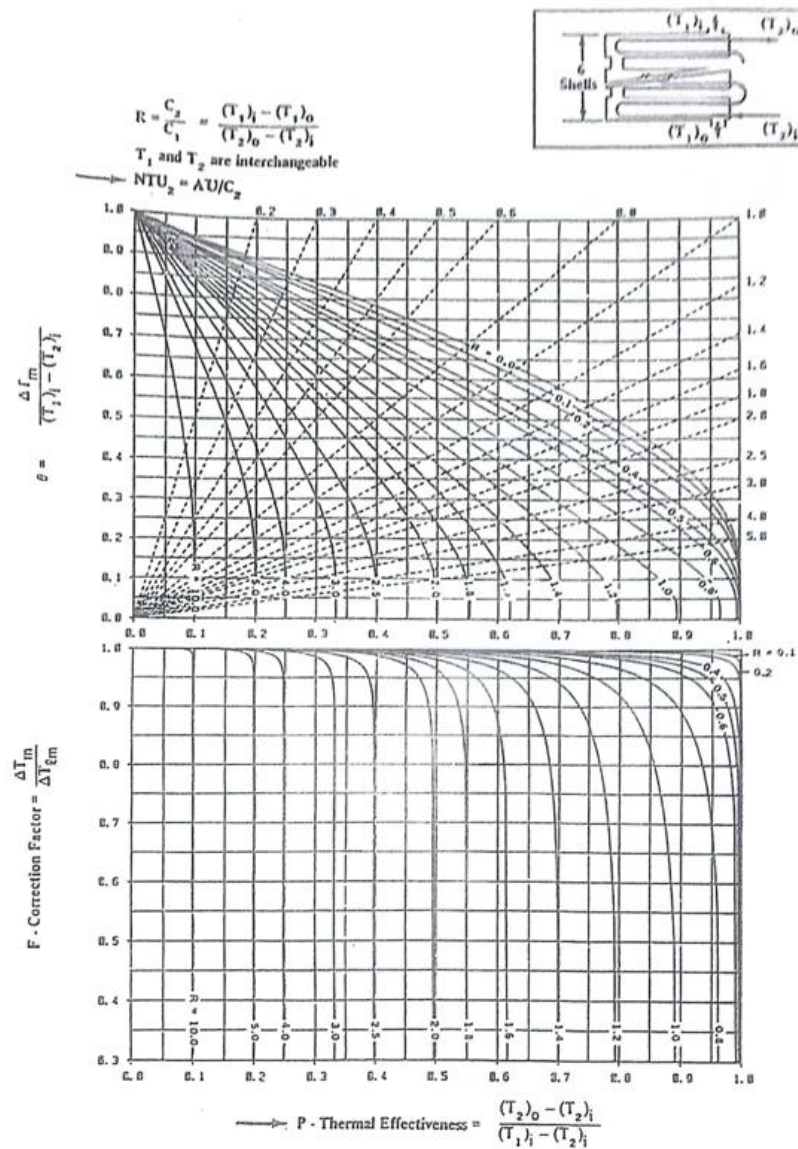
$$P_{E02} = \frac{t_{\text{refrig agua salida}} - t_{\text{refrig agua entrada}}}{T_{29} - t_{\text{refrig agua entrada}}} \quad (3.37)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E02} = 2,071$$

$$P_{E02} = 0,4278$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E02} .



Gráfica 4.1.6: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos tipo E con seis pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 51 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E02} = 1$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E02}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E02} = \frac{1}{\frac{D_{ext E02}}{D_{int E02}} \left(\frac{1}{h_{int E02}} + F_{s \text{ int } E02} \right) + \frac{1}{h_{ext E02}} + F_{s \text{ ext } E02}} \quad (3.38)$$

Donde:

- $D_{ext E02}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{int E02}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).

- $h_{\text{int E02}}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $h_{\text{ext E02}}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $F_{s \text{ int E02}}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.
- $F_{s \text{ ext E02}}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s \text{ int E02}} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$F_{s \text{ ext E02}} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$D_{\text{ext E02}} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{\text{int E02}}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{\text{ext E02}}$.

Tabla 44 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick-ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0235	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0233	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	58	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.223	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.202	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.163	.0511
1/2	22	.028	.1540	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.467	.0061	.0197	.1864	203	1.536	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0182	.1903	232	1.437	.158
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	16	.065	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1993	300	1.263	.114
5/8	17	.060	.202	.1636	.1323	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	18	.049	.2121	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	19	.042	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	20	.035	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.124	.1825	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.471	.238
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.329	.196
3/4	14	.083	.2676	.1963	.1529	.584	.584	.0098	.0262	.2376	410	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.060	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3239	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1760	.269	.680	.0058	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2092	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.212
7/8	11	.120	.2166	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.185
7/8	12	.109	.2350	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.332	.162
7/8	13	.095	.2585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.133
7/8	14	.083	.2848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.107
7/8	16	.065	.3259	.2291	.1950	.581	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.127
7/8	20	.035	.4090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.087	.092
1	8	.125	.2526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	550	1.493	.430
1	10	.104	.2506	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.100	.2536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.322
1	12	.099	.2618	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.095	.2618	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.080	.2618	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.072	.2618	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.065	.2618	.2618	.2270	.645	.870	.0210	.0410	.3314	927	1.149	.191
1	17	.060	.2618	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.2618	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.2221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.484	.605
1-1/4	8	.165	.2540	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1255	.3880	1037	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.2574	.3272	.2571	1.558	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.120	.2602	.3272	.2644	1.448	1.010	.0689	.1100	.4018	1250	1.238	.426
1-1/4	12	.109	.2655	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.2625	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.083	.2629	.3272	.2830	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	15	.075	.2652	.3272	.2830	.923	1.120	.0426	.0682	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	16	.068	.2652	.3272	.2932	.827	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.035	.2652	.3272	.3089	.456	1.160	.0247	.0395	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1254	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.291	.3927	.3356	1.618	1.222	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.083	1.398	.3927	.3492	1.258	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.474	.3927	.3587	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.453	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.126	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2586	.2586	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	5.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.8332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2833#/in.³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 A.I.S.I. 300 Series Stainless Steels 1.02
 Aluminum Bronze 1.04
 Aluminum Brass 1.06
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09
 Nickel and Nickel-Copper 1.12
 Copper and Cupro-Nickel 1.14

**Liquid Velocity = $\frac{\text{Lbs. Per Tube Per Hour}}{C \times \text{I.D. of Liquid}}$ in feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E02}}}{D_{\text{int E02}}} = 1,134 \quad (3.39)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E02}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externo ($h_{\text{ext E02}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E02}} = v_{\text{E02}}^{0,55} \quad (3.40)$$

Siendo v_{E02} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E02}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E02}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{\text{E02}} = \frac{h_{\text{int E02}} \cdot D_{\text{int E02}}}{K_{\text{E02}}} \quad (3.41)$$

Donde:

- Nu_{E02} : Número de Nusselt para el intercambiador E 02.
- K_{E02} : Conductividad térmica del intercambiador E 02.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente como se muestra en la Tabla 45.

$$Re_{E02} = \frac{4 * F_{29} * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int E02} * \mu_{E02} * \frac{N_{tubos E02}}{N_{pasos E02}}} \quad (3.42)$$

Donde:

- F_{29} : Flujo de corriente de proceso (aire) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF: Horas de funcionamiento.
- μ_{E02} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos E02}$: Número de tubos del intercambiador E 02.
- $N_{pasos E02}$: Número de pasos del intercambiador E 02.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos E02} = 1000$$

$$N_{pasos E02} = 4$$

El valor de F_{29} es el que se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_{29} = 307500$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E02} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación Tabla 45.

Tabla 45 Correlación a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$X_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$Nu_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L) Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L) Re_D Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$Nu_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{1/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales liq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_D < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales liq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para la correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E02} = 0,023 * Re_{E02}^{4/5} * Pr_{E02}^{n_{E02}} \quad (3.43)$$

Donde:

- Pr_{E02} : Número de Prandtl.
- n_{E02} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E02} = \frac{c_{PE02} * \mu_{E02} * 1000}{k_{E02}} \quad (3.44)$$

Donde:

- c_{PE02} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo en las ecuaciones (3.38) y (3.41) se determinan $h_{int E02}$ y U_{E02} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 02, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E02} = \frac{A_{E02}}{N_{carcasa E02}} \quad (3.45)$$

Se impone que $N_{carcasa E02} = 6$, este valor se obtiene de la Figura 51. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E02} = \pi * D_{ext E02} * L_{E02} * N_{carcasa E02} \quad (3.46)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E02} = 2,33$ m.

- **E 03**

El intercambiador E 03 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de NO + aire + H₂O. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_6 = 645 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_6 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_7 = 596 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_7 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_{61} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{61} = 40 \text{ bar}$$

$$T_{62} = 364,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{62} = 40 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), $Q_{E03} = 190,6 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E03} * 1000 = A_{E03} * U_{E03} * F_{E03} * DTLM_{E03} \quad (3.47)$$

Donde:

- Q_{E03} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E03} : Área del intercambiador (m²).
- U_{E03} : Coeficiente global de transferencia $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$.
- $DTLM_{E03}$: Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E03} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la $DTLM_{E03}$, para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

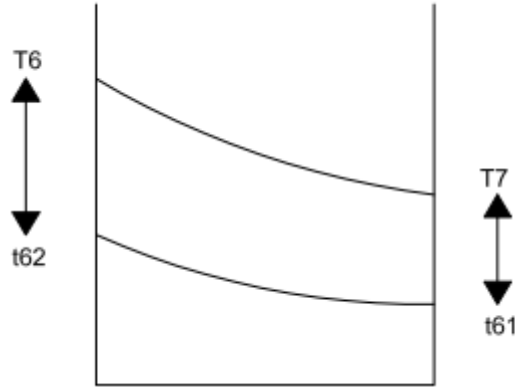


Figura 52 DTLM del intercambiador E 03. Fuente Propia.

$$DTLM_{E03} = \frac{(T_6 - t_{62}) - (T_7 - t_{61})}{\ln \frac{(T_6 - t_{62})}{(T_7 - t_{61})}} \quad (3.48)$$

Donde:

- T_6 : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_7 : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{61} : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{62} : Temperatura de salida del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).

Se obtiene que $DTLM_{E03} = 312,3 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E03}). Se debe de tener en cuenta que F_{E03} es un parámetro que depende de R_{E03} y P_{E03} .

$$R_{E03} = \frac{T_6 - T_7}{t_{62} - t_{61}} \quad (3.49)$$

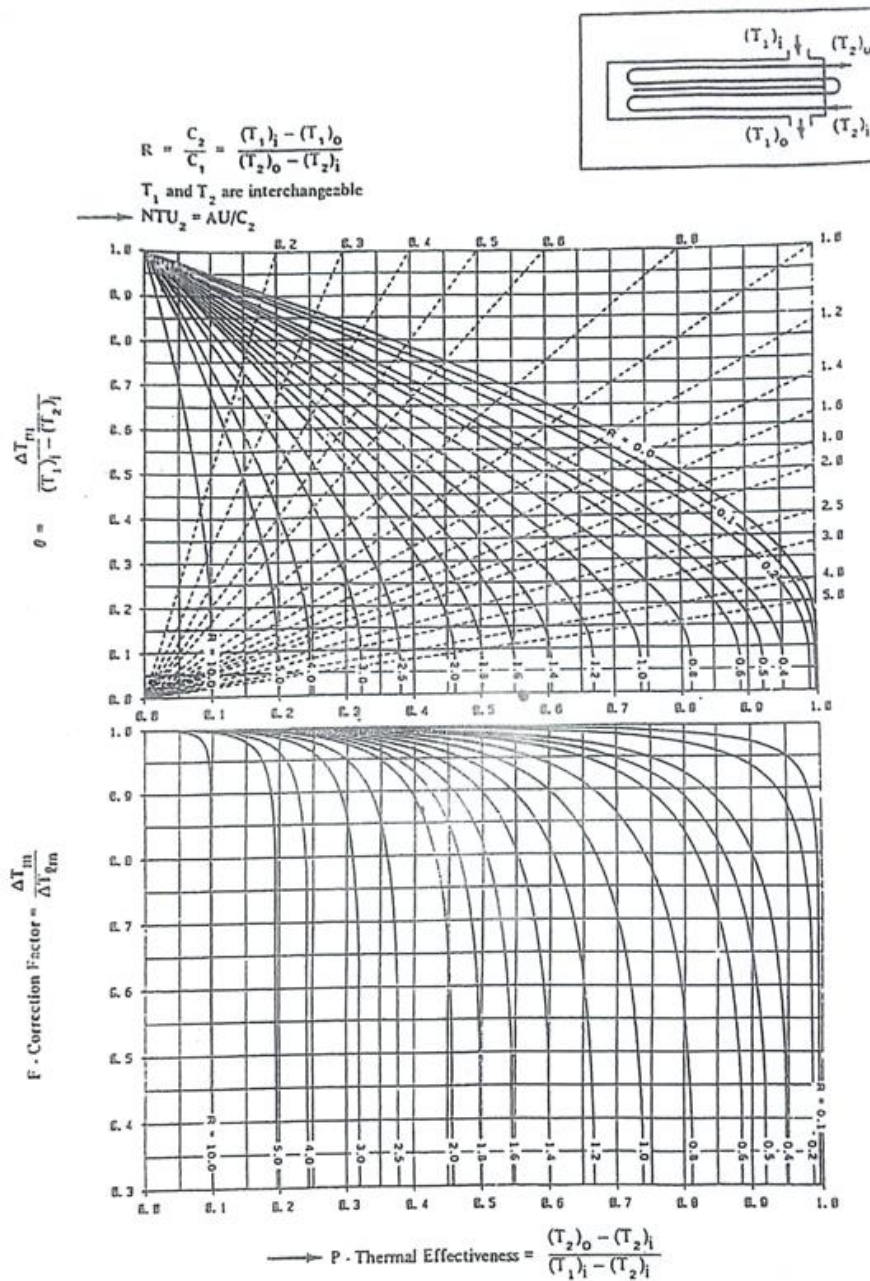
$$P_{E03} = \frac{t_{62} - t_{61}}{T_6 - t_{61}} \quad (3.50)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E03} = 0,429$$

$$P_{E03} = 0,2892$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E03} .



Gráfica 4.1.2: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 53 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E03} = 0,97$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E03}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E03} = \frac{1}{\frac{D_{ext E03}}{D_{int E03}} \left(\frac{1}{h_{int E03}} + F_{s int E03} \right) + \frac{1}{h_{ext E03}} + F_{s ext E03}} \quad (3.51)$$

Donde:

- $D_{\text{ext E03}}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{\text{int E03}}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{\text{int E03}}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $h_{\text{ext E03}}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $F_{s \text{ int E03}}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.
- $F_{s \text{ ext E03}}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s \text{ int E03}} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$F_{s \text{ ext E03}} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right).$$

$$D_{\text{ext E03}} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{\text{int E03}}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{\text{ext E03}}$.

Tabla 46 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick-ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0233	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0260	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	56	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.233	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.162	.0511
1/2	22	.028	.1548	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.467	.0061	.0197	.1864	203	1.526	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.537	.495	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	16	.065	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1993	300	1.263	.114
5/8	17	.058	.2035	.1636	.1333	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	18	.049	.2191	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	19	.042	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	20	.035	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.154	.1923	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.471	.238
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.339	.196
3/4	14	.083	.2676	.1963	.1529	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0082	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.058	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3299	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1760	.269	.680	.0058	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2092	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.212
7/8	11	.120	.2166	.2291	.1662	.967	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	12	.109	.2350	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.332	.262
7/8	13	.095	.2585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.233
7/8	14	.083	.2848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	16	.065	.3459	.2291	.1950	.561	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.127
7/8	20	.035	.4070	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.067	.092
1	8	.125	.3596	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	550	1.493	.430
1	10	.104	.4306	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.120	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.322
1	12	.109	.4803	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.095	.5153	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.083	.5463	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.072	.5755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.065	.5945	.2618	.2278	.649	.870	.0210	.0410	.3314	927	1.149	.191
1	18	.049	.6320	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.6793	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.4221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.404	.605
1-1/4	8	.155	.4540	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1037	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.5594	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.120	.6012	.3272	.2644	1.448	1.010	.0689	.1100	.4018	1250	1.238	.426
1-1/4	12	.109	.6365	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.6825	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0956	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.083	.7229	.3272	.2838	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	15	.072	.7612	.3272	.2892	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	16	.065	.7942	.3272	.2932	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.035	1.005	.3272	.3089	.456	1.160	.0247	.0395	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.124	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1354	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.291	.3927	.3356	1.618	1.282	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.083	1.396	.3927	.3492	1.258	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.474	.3927	.3567	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.423	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.126	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2566	.2566	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	3.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.6332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2832#/inch³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 A.I.S.I. 300 Series Stainless Steels 1.02
 Aluminum Bronze 1.04
 Aluminum Brass 1.06
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09
 Nickel and Nickel-Copper 1.14
 Copper and Cupro-Nickels 1.14

**Liquid Velocity = Lbs. Per Tube Per Hour In feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)
 $C = 57.45 \times \text{O.D. of Liquid}$

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E03}}}{D_{\text{int E03}}} = 1,134 \quad (3.52)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E03}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externo ($h_{\text{ext E03}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E03}} = v_{\text{E03}}^{0,55} \quad (3.53)$$

Siendo v_{E03} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E03}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E03}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{E03} = \frac{h_{int\ E03} * D_{int\ E03}}{K_{E03}} \quad (3.54)$$

Donde:

- Nu_{E03} : Número de Nusselt para el intercambiador E 03.
- K_{E03} : Conductividad térmica del intercambiador E 03.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente de la Tabla 47.

$$Re_{E03} = \frac{4 * F_6 * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int\ E03} * \mu_{E03} * \frac{N_{tubos\ E03}}{N_{pasos\ E03}}} \quad (3.55)$$

Donde:

- F_6 : Flujo de corriente de proceso (NO + aire + H₂O) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF: Horas de funcionamiento.
- μ_{E03} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos\ E03}$: Número de tubos del intercambiador E 03.
- $N_{pasos\ E03}$: Número de pasos del intercambiador E 03.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos\ E03} = 450$$

$$N_{pasos\ E03} = 4$$

El valor de F_6 es el que se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_6 = 269450$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E03} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación como se muestra en la Tabla 47.

Tabla 47 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$Nu_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$Nu_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_D < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para la correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E03} = 0,023 * Re_{E03}^{4/5} * Pr_{E03}^{n_{E03}} \quad (3.56)$$

Donde:

- Pr_{E03} : Número de Prandtl.
- n_{E03} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E03} = \frac{c_{pE03} * \mu_{E03} * 1000}{k_{E03}} \quad (3.57)$$

Donde:

- c_{pE03} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo dichos valores en las ecuaciones (3.51) y (3.54) se determinan $h_{int E03}$ y U_{E03} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 03, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E03} = \frac{A_{E03}}{N_{carcasa E03}} \quad (3.58)$$

Se impone que $N_{carcasa E03} = 1$, este valor se obtiene de la Figura 53 Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E03} = \pi * D_{ext E03} * L_{E03} * N_{carcasa E03} \quad (3.59)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E03} = 1,399$ m.

- **E 04**

El intercambiador E 04 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{aire} + \text{H}_2\text{O}$. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_7 = 596 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_7 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_8 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_8 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_{63} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{63} = 40 \text{ bar}$$

$$T_{64} = 364,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{64} = 40 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), $Q_{E04} = 190,6 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E04} * 1000 = A_{E04} * U_{E04} * F_{E04} * \text{DTLM}_{E04} \quad (3.60)$$

Donde:

- Q_{E04} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E04} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E04} : Coeficiente global de transferencia $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$.
- DTLM_{E04} : Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E04} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la DTLM_{E04} , para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

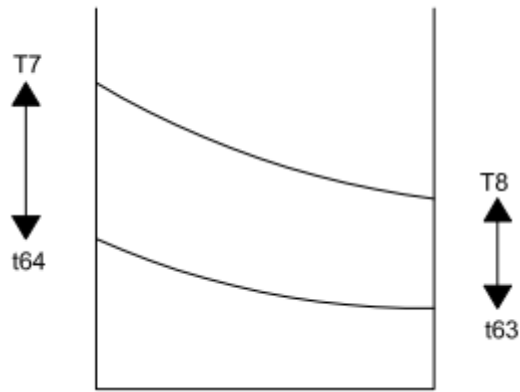


Figura 54 DTLM del intercambiador E 04. Fuente Propia.

$$DTLM_{E04} = \frac{(T_7 - t_{64}) - (T_8 - t_{63})}{\ln \frac{(T_7 - t_{64})}{(T_8 - t_{63})}} \quad (3.61)$$

Donde:

- T_7 : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_8 : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{63} : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{64} : Temperatura de salida del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).

Se obtiene que $DTLM_{E04} = 118,5 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E04}). Se debe de tener en cuenta que F_{E04} es un parámetro que depende de R_{E04} y P_{E04} .

$$R_{E04} = \frac{T_7 - T_8}{t_{64} - t_{63}} \quad (3.62)$$

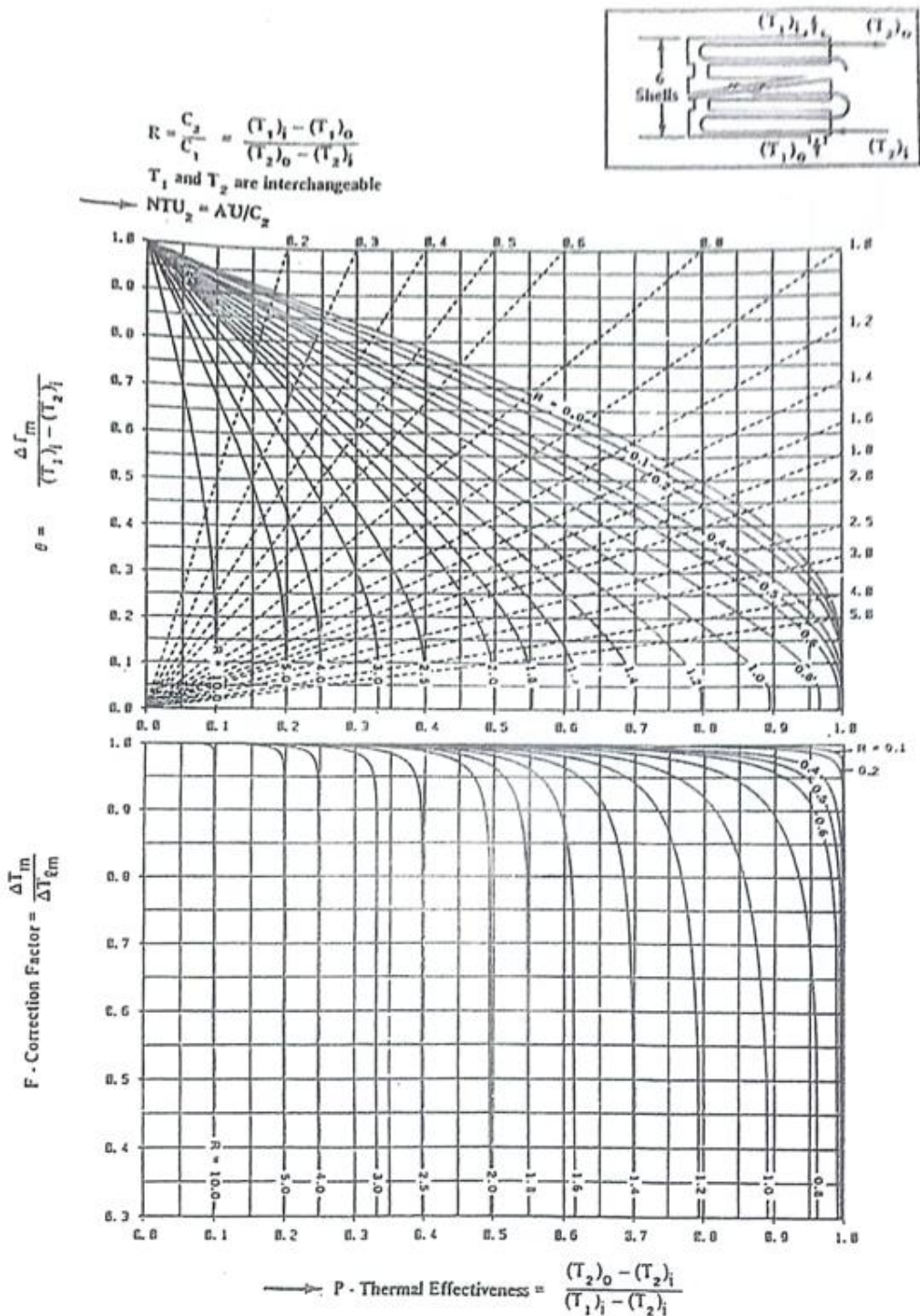
$$P_{E04} = \frac{t_{64} - t_{63}}{T_7 - t_{63}} \quad (3.63)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E04} = 2,592$$

$$P_{E04} = 0,33$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E04} .



Gráfica 4.1.6: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos tipo E con seis pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 55 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E04} = 1$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E04}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E04} = \frac{1}{\frac{D_{ext E04}}{D_{int E04}} \left(\frac{1}{h_{int E04}} + F_{s int E04} \right) + \frac{1}{h_{ext E04}} + F_{s ext E04}} \quad (3.64)$$

Donde:

- $D_{ext E04}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{int E04}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{int E04}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $h_{ext E04}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $F_{s int E04}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.
- $F_{s ext E04}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s int E04} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$F_{s ext E04} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$D_{ext E04} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{int E04}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{ext E04}$.

Tabla 48 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thickness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.020	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0333	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	58	1.168	.0191
3/8	18	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.233	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1240	134	1.137	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.162	.0511
1/2	22	.028	.1548	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.407	.0061	.0197	.1864	203	1.536	.177
5/8	14	.085	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	16	.063	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0052	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	18	.052	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1975	283	1.299	.125
5/8	20	.045	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1993	300	1.262	.114
5/8	22	.038	.2035	.1636	.1333	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	24	.032	.2121	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	26	.028	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0032	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	28	.025	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.134	.1925	.1963	.1762	.884	.402	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	12	.120	.2043	.1963	.1835	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.491	.230
3/4	14	.109	.2223	.1963	.1923	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.200
3/4	16	.095	.2463	.1963	.1963	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.339	.196
3/4	18	.083	.2676	.1963	.1963	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	20	.072	.2884	.1963	.1963	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	22	.065	.3019	.1963	.1963	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	24	.058	.3157	.1963	.1963	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	26	.052	.3239	.1963	.1963	.387	.647	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	28	.045	.3362	.1963	.1963	.349	.660	.0058	.0154	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2882	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.312
7/8	12	.120	.3166	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	14	.109	.3380	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.332	.262
7/8	16	.095	.3585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.233
7/8	18	.083	.3848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	20	.072	.4059	.2291	.1950	.641	.745	.0157	.0342	.2872	680	1.174	.165
7/8	22	.065	.4242	.2291	.2034	.577	.777	.0149	.0319	.2925	740	1.126	.127
7/8	24	.058	.4390	.2291	.2107	.513	.805	.0142	.0297	.2972	794	1.087	.092
1	8	.165	.3526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	550	1.492	.430
1	10	.154	.4206	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	636	1.366	.364
1	12	.140	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.332
1	14	.129	.4831	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	16	.115	.5152	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	18	.103	.5463	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	20	.092	.5755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	22	.085	.5945	.2618	.2278	.649	.870	.0210	.0419	.3314	927	1.149	.191
1	24	.075	.6130	.2618	.2361	.596	.902	.0185	.0382	.3366	987	1.109	.146
1	26	.065	.6320	.2618	.2435	.530	.930	.0154	.0344	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.4221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.404	.605
1-1/4	8	.165	.4540	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1037	1.358	.565
1-1/4	10	.154	.4754	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	12	.140	.5012	.3272	.2644	1.448	1.010	.0688	.1100	.4018	1250	1.238	.426
1-1/4	14	.129	.5355	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	16	.115	.5625	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	18	.103	.5829	.3272	.2838	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	20	.092	.6052	.3272	.2932	.923	1.120	.0466	.0762	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	22	.085	.6142	.3272	.3016	.829	1.152	.0434	.0734	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	24	.075	.6294	.3272	.3089	.746	1.180	.0427	.0705	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1354	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.120	1.291	.3927	.3356	1.618	1.282	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.103	1.398	.3927	.3492	1.258	1.334	.0831	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.085	1.474	.3927	.3587	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.423	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.136	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2586	.2586	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	5.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.6322	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2833#/inch³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 A.I.S.I. 300 Series Stainless Steels 1.02
 Aluminum Bronze 1.04
 Aluminum Brass 1.06
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09
 Nickel and Nickel-Copper 1.13
 Copper and Cupro-Nickels 1.14

**Liquid Velocity = Lbs. Per Tube Per Hour in feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)
 C = Sp. Gr. of Liquid

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E04}}}{D_{\text{int E04}}} = 1,134 \quad (3.65)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E04}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externa ($h_{\text{ext E04}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E04}} = v_{\text{E04}}^{0,55} \quad (3.66)$$

Siendo v_{E03} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E04}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E04}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{E04} = \frac{h_{int\ E04} * D_{int\ E04}}{K_{E04}} \quad (3.67)$$

Donde:

- Nu_{E04} : Número de Nusselt para el intercambiador E 04.
- K_{E04} : Conductividad térmica del intercambiador E 04.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente como se muestra en la Tabla 49.

$$Re_{E04} = \frac{4 * F_7 * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int\ E04} * \mu_{E04} * \frac{N_{tubos\ E04}}{N_{pasos\ E04}}} \quad (3.68)$$

Donde:

- F_7 : Flujo de corriente de proceso ($NO + NO_2 + \text{aire} + H_2O$) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF : Horas de funcionamiento.
- μ_{E04} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos\ E04}$: Número de tubos del intercambiador E 04.
- $N_{pasos\ E04}$: Número de pasos del intercambiador E 04.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos\ E04} = 1000$$

$$N_{pasos\ E04} = 4$$

El valor de F_7 se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_7 = 269450$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E04} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación como se muestra en la Tabla 49.

Tabla 49 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} = 0.0575 D Re_0 Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_0$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_0^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_0 \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_0^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_0 > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_0) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_0 \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_0 = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_0 = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$Nu_0 = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_0 Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_0 Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$Nu_0 = 1.86 \left(\frac{Re_0 Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_0 Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_0 = 0.023 Re_0^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_0 > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_0 = 0.027 Re_0^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_0 > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_0 = \frac{(f/8)(Re_0 - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_0 < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_0 = 4.82 + 0.0185(Re_0 Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_0 < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_0 < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_0 = 5.0 + 0.025 Pe_0^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_0 > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para la correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E04} = 0,023 * Re_{E04}^{4/5} * Pr_{E04}^{n_{E04}} \quad (3.69)$$

Donde:

- Pr_{E04} : Número de Prandtl.
- n_{E04} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E04} = \frac{c_{pE04} * \mu_{E04} * 1000}{k_{E04}} \quad (3.70)$$

Donde:

- c_{pE04} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo en las ecuaciones (3.64) y (3.67) se determinan $h_{int E04}$ y U_{E04} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 04, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E04} = \frac{A_{E04}}{N_{carcasa E04}} \quad (3.71)$$

Se impone que $N_{carcasa E04} = 6$, este valor se obtiene de la Figura 55. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E04} = \pi * D_{ext E04} * L_{E04} * N_{carcasa E04} \quad (3.72)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E04} = 1,984$ m.

- **E 05**

El intercambiador E 05 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O}_4 + \text{aire} + \text{H}_2\text{O}$. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_8 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_8 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_9 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_9 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_{19} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{19} = 10 \text{ bar}$$

$$T_{20} = 202,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{20} = 10 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), $Q_{E05} = 554,3 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E05} * 1000 = A_{E05} * U_{E05} * F_{E05} * \text{DTLM}_{E05} \quad (3.73)$$

Donde:

- Q_{E05} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E05} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E05} : Coeficiente global de transferencia $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$.
- DTLM_{E05} : Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E05} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la DTLM_{E05} , para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

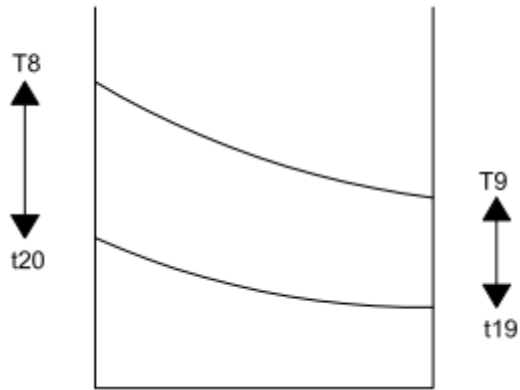


Figura 56 DTLM del intercambiador E 05. Fuente Propia.

$$DTLM_{E05} = \frac{(T_8 - t_{20}) - (T_9 - t_{19})}{\ln \frac{(T_8 - t_{20})}{(T_9 - t_{19})}} \quad (3.74)$$

Donde:

- T_8 : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_9 : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{19} : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).
- t_{20} : Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).

Se obtiene que $DTLM_{E05} = 130,4 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E05}). Se debe de tener en cuenta que F_{E05} es un parámetro que depende de R_{E05} y P_{E05} .

$$R_{E05} = \frac{T_8 - T_9}{t_{20} - t_{19}} \quad (3.75)$$

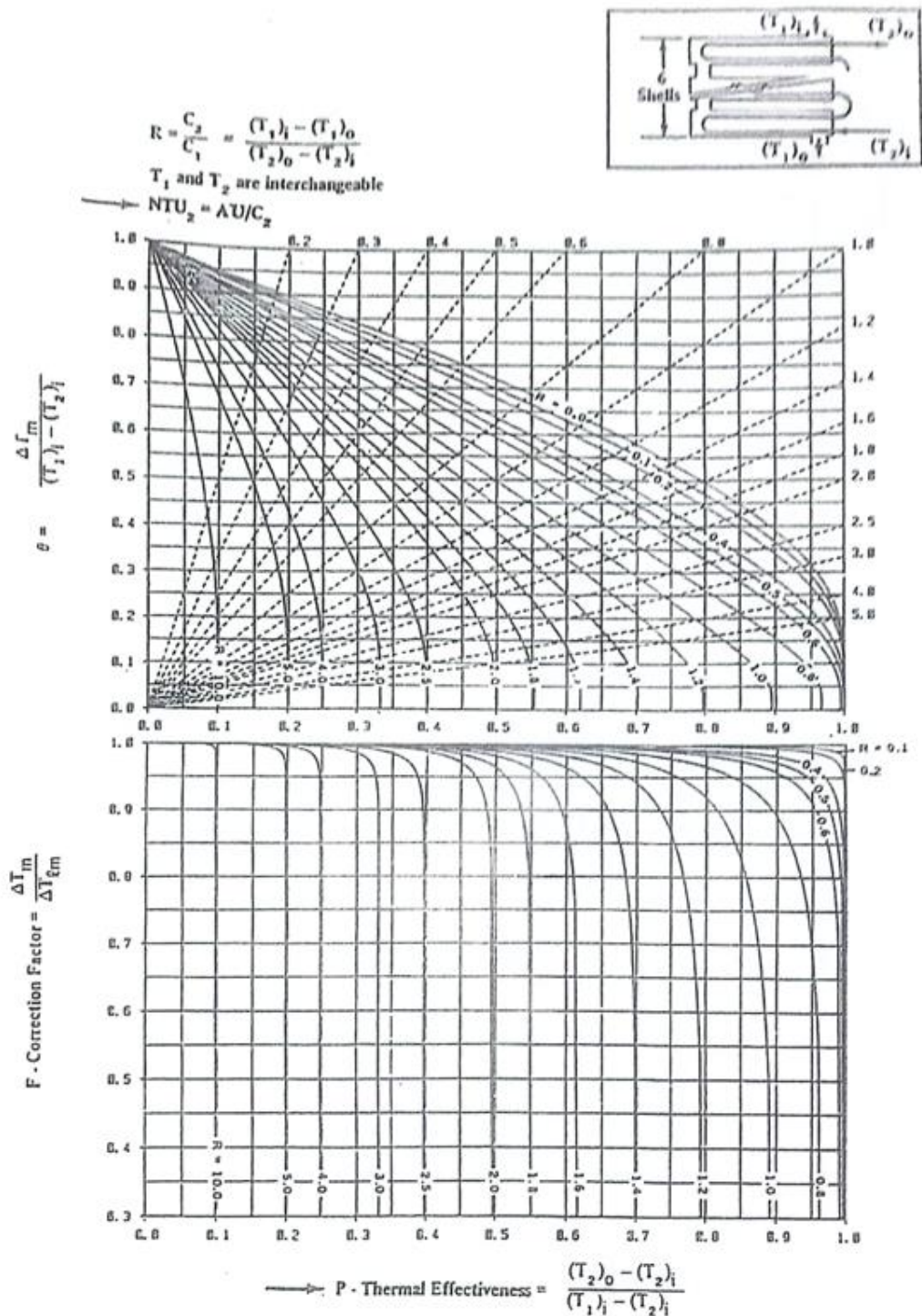
$$P_{E05} = \frac{t_{20} - t_{19}}{T_8 - t_{19}} \quad (3.76)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E05} = 0,5247$$

$$P_{E05} = 0,6099$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E05} .



Gráfica 4.1.6: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos tipo E con seis pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 57 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E05} = 1$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E05}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E05} = \frac{1}{\frac{D_{ext E05}}{D_{int E05}} \left(\frac{1}{h_{int E05}} + F_{s int E05} \right) + \frac{1}{h_{ext E05}} + F_{s ext E05}} \quad (3.77)$$

Donde:

- $D_{ext E05}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{int E05}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{int E05}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $h_{ext E05}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $F_{s int E05}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.
- $F_{s ext E05}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s int E05} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$F_{s ext E05} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$D_{ext E05} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{int E05}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{ext E05}$.

Tabla 50 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick- ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0323	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	58	1.168	.0131
3/8	16	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.223	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0866	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.163	.0511
1/2	22	.028	.1546	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.407	.0061	.0197	.1864	203	1.526	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	14	.082	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	16	.065	.1974	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1993	300	1.263	.114
5/8	17	.060	.2121	.1636	.1323	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	18	.049	.2296	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	19	.042	.2496	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	20	.035	.2719	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.154	.1825	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.471	.228
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.410	.200
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.339	.196
3/4	14	.082	.2676	.1963	.1529	.584	.589	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.060	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3239	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3532	.1963	.1780	.269	.680	.0058	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2092	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.312
7/8	11	.120	.2168	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	12	.109	.2380	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.332	.262
7/8	13	.095	.2585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.233
7/8	14	.082	.2848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	16	.065	.3359	.2291	.1950	.581	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.125
7/8	20	.035	.4090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.087	.092
1	8	.125	.3526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3089	550	1.493	.420
1	10	.104	.4206	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.090	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.322
1	12	.079	.4863	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.065	.5153	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.060	.5460	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.072	.5752	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.065	.5945	.2618	.2278	.645	.870	.0210	.0419	.3314	927	1.149	.191
1	17	.049	.6350	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.6793	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.180	.4221	.3272	.2330	2.057	.898	.0890	.1425	.3836	970	1.404	.605
1-1/4	8	.165	.4548	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1027	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.5794	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.126	.6012	.3272	.2644	1.448	1.010	.0689	.1100	.4018	1250	1.228	.426
1-1/4	12	.109	.6355	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.6825	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.082	.7229	.3272	.2830	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	16	.065	.8152	.3272	.2932	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1527	1.116	.242
1-1/4	18	.049	.8942	.3272	.3016	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.035	1.004	.3272	.3089	.456	1.180	.0247	.0395	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1354	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.391	.3927	.3356	1.618	1.262	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.082	1.398	.3927	.3492	1.258	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.474	.3927	.3567	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.423	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.136	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2566	.2566	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	5.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.8332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2833#/inch³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum..... 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels..... 0.99
 A.I.S.I. 200 Series Stainless Steels..... 1.02
 Aluminum Bronze..... 1.04
 Aluminum Brass..... 1.06
 Nickel-Chrome-Iron..... 1.07
 Admiralty..... 1.09
 Nickel and Nickel-Copper..... 1.12
 Copper and Cupro-Nickel..... 1.14

**Liquid Velocity = $\frac{\text{Lbs. Per Tube Per Hour}}{C \times \text{S.P. OR. of Liquid}}$ in feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E05}}}{D_{\text{int E05}}} = 1,134 \quad (3.78)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E05}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externa ($h_{\text{ext E05}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E05}} = v_{\text{E05}}^{0,55} \quad (3.79)$$

Siendo v_{E03} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E05}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E05}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{\text{E05}} = \frac{h_{\text{int E05}} \cdot D_{\text{int E05}}}{K_{\text{E05}}} \quad (3.80)$$

Donde:

- Nu_{E05} : Número de Nusselt para el intercambiador E 05.
- K_{E05} : Conductividad térmica del intercambiador E 05.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente de la Tabla 51.

$$Re_{E05} = \frac{4 * F_8 * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int E05} * \mu_{E05} * \frac{N_{tubos E05}}{N_{pasos E05}}} \quad (3.81)$$

Donde:

- F_8 : Flujo de corriente de proceso ($NO + NO_2 + N_2O_4 + \text{aire} + H_2O$) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF : Horas de funcionamiento.
- μ_{E05} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos E05}$: Número de tubos del intercambiador E 05.
- $N_{pasos E05}$: Número de pasos del intercambiador E 05.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos E05} = 450$$

$$N_{pasos E05} = 4$$

El valor de F_8 se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_8 = 269450$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E05} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación como se muestra en la Tabla 51.

Tabla 51 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,t} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$\bar{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$\bar{Nu}_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pr < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para las correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E05} = 0,023 * Re_{E05}^{4/5} * Pr_{E05}^{n_{E05}} \quad (3.82)$$

Donde:

- Pr_{E05} : Número de Prandtl.
- n_{E05} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E05} = \frac{c_{pE05} * \mu_{E05} * 1000}{k_{E05}} \quad (3.83)$$

Donde:

- c_{pE05} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo en las ecuaciones (3.77) y (3.80) se determinan $h_{int E05}$ y U_{E05} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 05, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E05} = \frac{A_{E05}}{N_{carcasa E05}} \quad (3.84)$$

Se impone que $N_{carcasa E05} = 6$, este valor se obtiene de la Figura 57. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E05} = \pi * D_{ext E05} * L_{E05} * N_{carcasa E05} \quad (3.85)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E05} = 1,591$ m.

- **E 07**

El condensador E 07 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O}_4 + \text{aire} + \text{H}_2\text{O}$. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_9 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_9 = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_{10} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{10} = 7,5 \text{ bar}$$

$$T_{\text{refrig agua entrada}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{refrig agua entrada}} = 1 \text{ bar}$$

$$T_{\text{refrig agua salida}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{\text{refrig agua salida}} = 1 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), $Q_{E07} = 2234 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E07} * 1000 = A_{E07} * U_{E07} * F_{E07} * \text{DTLM}_{E07} \quad (3.86)$$

Donde:

- Q_{E07} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E07} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E07} : Coeficiente global de transferencia $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}\right)$.
- DTLM_{E07} : Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E07} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la DTLM_{E07} , para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

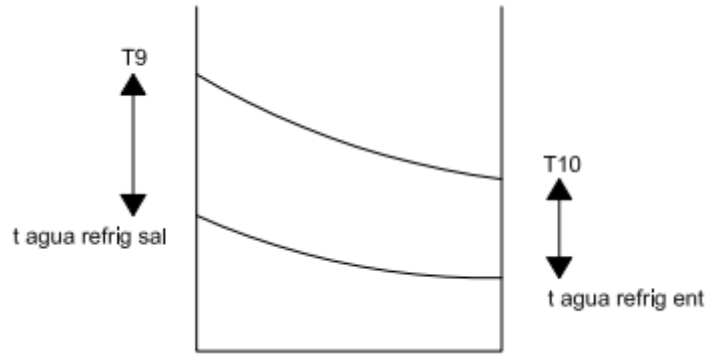


Figura 58 DTLM del condensador E 07. Fuente Propia.

$$DTLM_{E07} = \frac{(T_9 - t_{\text{refrig agua salida}}) - (T_{10} - t_{\text{refrig agua entrada}})}{\ln \frac{(T_9 - t_{\text{refrig agua salida}})}{(T_{10} - t_{\text{refrig agua entrada}})}} \quad (3.87)$$

Donde:

- T_9 : Temperatura de entrada del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- T_{10} : Temperatura de salida del fluido caliente ($^{\circ}\text{C}$).
- $t_{\text{refrig agua entrada}}$: Temperatura de entrada del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).
- $t_{\text{refrig agua salida}}$: Temperatura de salida del fluido frío ($^{\circ}\text{C}$).

Se obtiene que $DTLM_{E07} = 95,74 \text{ K}$.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E07}). Se debe de tener en cuenta que F_{E07} es un parámetro que depende de R_{E07} y P_{E07} .

$$R_{E07} = \frac{T_9 - T_{10}}{t_{\text{refrig agua salida}} - t_{\text{refrig agua entrada}}} \quad (3.88)$$

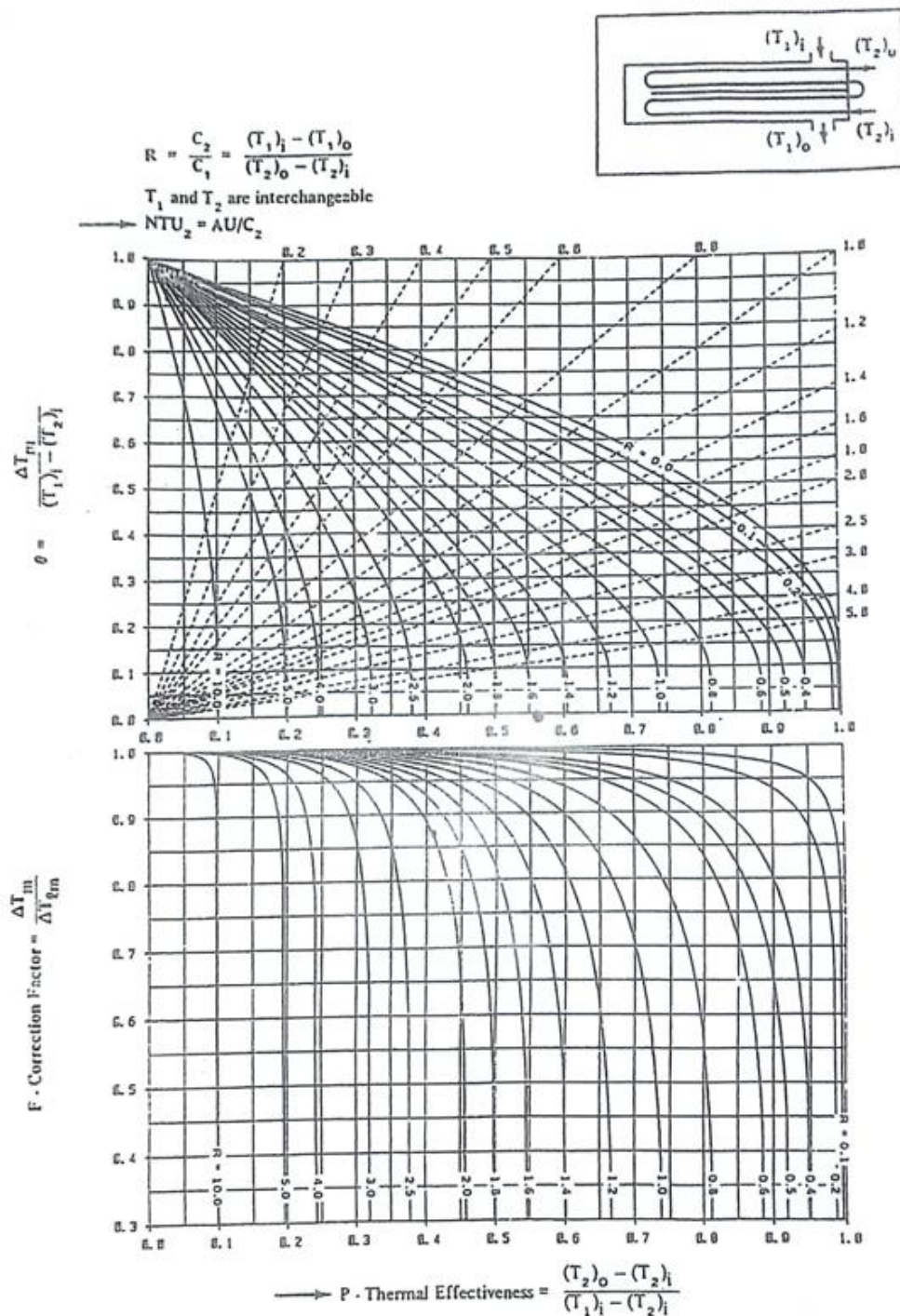
$$P_{E07} = \frac{t_{\text{refrig agua salida}} - t_{\text{refrig agua entrada}}}{T_9 - t_{\text{refrig agua entrada}}} \quad (3.89)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E07} = 1,6$$

$$P_{E07} = 0,121$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E07} .



Gráfica 4.1.2: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos con dos pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 59 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E07} = 1$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E02}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E07} = \frac{1}{\frac{D_{ext E07}}{D_{int E07}} \left(\frac{1}{h_{int E07}} + F_{s int E07} \right) + \frac{1}{h_{ext E07}} + F_{s ext E07}} \quad (3.90)$$

Donde:

- $D_{ext E07}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{int E07}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{int E07}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $h_{ext E07}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $F_{s int E07}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.
- $F_{s ext E07}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s int E07} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$F_{s ext E07} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$D_{ext E07} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{int E07}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{ext E07}$.

Tabla 52 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick-ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. — I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0233	.0655	.0529	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	58	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0982	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0982	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.223	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0982	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0982	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.302	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0694
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.163	.0511
1/2	22	.028	.1546	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.602	.467	.0061	.0197	.1864	203	1.536	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1129	.537	.435	.0057	.0183	.1903	232	1.437	.158
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0052	.0170	.1938	258	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	283	1.299	.125
5/8	16	.065	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1993	300	1.263	.114
5/8	17	.060	.2076	.1636	.1323	.350	.509	.0042	.0134	.2016	317	1.228	.103
5/8	18	.049	.2121	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	340	1.186	.089
5/8	19	.042	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	358	1.155	.077
5/8	20	.035	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	377	1.126	.065
3/4	10	.154	.1825	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0344	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.809	.510	.0122	.0326	.2267	319	1.471	.238
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0309	.2299	347	1.418	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.329	.196
3/4	14	.083	.2676	.1963	.1529	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.060	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3239	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1780	.269	.680	.0050	.0154	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2082	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.212
7/8	11	.120	.2168	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	12	.109	.2350	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.322	.262
7/8	13	.095	.2585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.233
7/8	14	.083	.2848	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	16	.065	.3259	.2291	.1950	.561	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.127
7/8	20	.035	.4090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.087	.092
1	8	.125	.2526	.2618	.1754	1.462	.670	.0392	.0784	.3009	550	1.493	.430
1	10	.104	.2806	.2618	.1916	1.237	.732	.0350	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.100	.2836	.2618	.1990	1.129	.760	.0327	.0654	.3140	708	1.316	.332
1	12	.099	.2853	.2618	.2047	1.037	.782	.0307	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.095	.2853	.2618	.2121	.918	.810	.0280	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.083	.3467	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.072	.3755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.065	.3945	.2618	.2278	.646	.870	.0210	.0419	.3314	927	1.149	.191
1	18	.049	.4350	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.4793	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.2221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.484	.605
1-1/4	8	.145	.2548	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1027	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.2574	.3272	.2571	1.598	.982	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.120	.2801	.3272	.2644	1.448	1.010	.0689	.1100	.4018	1250	1.238	.426
1-1/4	12	.109	.3055	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.3225	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.083	.3452	.3272	.2838	1.030	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	16	.065	.3852	.3272	.2932	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	18	.049	.4352	.3272	.3016	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.035	.4892	.3272	.3089	.456	1.180	.0247	.0395	.4297	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1254	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.261	.3927	.3356	1.610	1.282	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.083	1.398	.3927	.3492	1.258	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.474	.3927	.3587	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.459	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.136	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2566	.2586	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.140	5.515	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.6332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2833#/in³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 A.I.S.I. 300 Series Stainless Steels 1.02
 Aluminum Bronze 1.04
 Aluminum Brass 1.06
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09
 Nickel and Nickel-Copper 1.12
 Copper and Cupro-Nickels 1.14

**Liquid Velocity = $\frac{\text{Lbs. Per Tube Per Hour}}{C \times \text{S.P. GR. of Liquid}}$ in feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E07}}}{D_{\text{int E07}}} = 1,134 \quad (3.91)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E07}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externo ($h_{\text{ext E07}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E07}} = v_{\text{E07}}^{0,55} \quad (3.92)$$

Siendo v_{E07} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E07}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E07}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{\text{E07}} = \frac{h_{\text{int E07}} \cdot D_{\text{int E07}}}{K_{\text{E07}}} \quad (3.93)$$

Donde:

- Nu_{E07} : Número de Nusselt para el intercambiador E 07.
- K_{E07} : Conductividad térmica del intercambiador E 07.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente de la Tabla 53.

$$Re_{E07} = \frac{4 * F_9 * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int E07} * \mu_{E07} * \frac{N_{tubos E07}}{N_{pasos E07}}} \quad (3.94)$$

Donde:

- F_9 : Flujo de corriente de proceso (aire) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF : Horas de funcionamiento.
- μ_{E07} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos E07}$: Número de tubos del intercambiador E 07.
- $N_{pasos E07}$: Número de pasos del intercambiador E 07.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos E07} = 1500$$

$$N_{pasos E07} = 4$$

El valor de F_9 es el que se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_9 = 266362$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E07} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación como se muestra en la Tabla 53.

Tabla 53 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular		Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
Nº	Correlación			
18	$x_{ent, t} = 0.0575 D Re_0 Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_0$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_0^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_0 \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_0^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_0 > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_0) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_0 \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_0 = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_0 = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$Nu_0 = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_0 Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_0 Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$Nu_0 = 1.86 \left(\frac{Re_0 Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_0 Pr / (L/D)]^{1/3} (\mu / \mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu / \mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_0 = 0.023 Re_0^{4/3} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_0 > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_0 = 0.027 Re_0^{4/3} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_0 > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_0 = \frac{(f/8)(Re_0 - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{1/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_0 < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_0 = 4.82 + 0.0185(Re_0 Pr)^{0.827}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_0 < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_0 < 10^6$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_0 = 5.0 + 0.025 Pe_0^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_0 > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para las correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E07} = 0,023 * Re_{E07}^{4/3} * Pr_{E07}^{n_{E07}} \quad (3.95)$$

Donde:

- Pr_{E07} : Número de Prandtl.
- n_{E07} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E07} = \frac{c_{pE07} * \mu_{E07} * 1000}{k_{E07}} \quad (3.96)$$

Donde:

- c_{pE07} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo en las ecuaciones (3.90) y (3.93) se determinan $h_{int E07}$ y U_{E07} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 07, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E07} = \frac{A_{E07}}{N_{carcasa E07}} \quad (3.97)$$

Se impone que $N_{carcasa E07} = 6$, este valor se obtiene de la Figura 59. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E07} = \pi * D_{ext E07} * L_{E07} * N_{carcasa E07} \quad (3.98)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E07} = 1,58$ m.

- **E 08**

El intercambiador E 08 es un equipo de transferencia de calor. Esta transferencia se produce entre una corriente de $\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{N}_2\text{O}_4 + \text{aire} + \text{H}_2\text{O}$. Para llevar a cabo el dimensionamiento de este equipo es necesario establecer las condiciones de operación (presión y temperatura de cada una de las corrientes).

Las siguientes condiciones de temperatura y presión han sido determinadas, impuestas o encontrada de las diferentes referencias.

$$T_{16} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{16} = 10 \text{ bar}$$

$$T_{17} = 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{17} = 10 \text{ bar}$$

$$T_{48} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{48} = 1 \text{ bar}$$

$$T_{49} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{49} = 1 \text{ bar}$$

Como ya se determinó en el balance de energía (BE), $Q_{E08} = 46,88 \text{ kW}$.

Tras la obtención del calor que se transfiere, se va a calcular el área del intercambiador, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{E08} * 1000 = A_{E08} * U_{E08} * F_{E08} * \text{DTLM}_{E08} \quad (3.99)$$

Donde:

- Q_{E08} : Potencia del intercambiador (kW).
- A_{E08} : Área del intercambiador (m^2).
- U_{E08} : Coeficiente global de transferencia $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}\right)$.
- DTLM_{E08} : Salto de temperaturas que se produce en el intercambiador (K).
- F_{E08} : Factor de corrección (adimensional).

En primer lugar, se realiza el cálculo de la DTLM_{E05} , para ello se tiene en cuenta el siguiente esquema. Además, estos datos son conocidos como ya se ha mostrado en el BM.

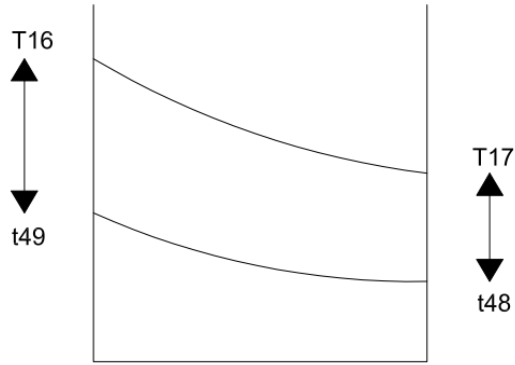


Figura 60 DTLM del intercambiador E 08. Fuente Propia.

$$DTLM_{E08} = \frac{(T_{16}-t_{49})-(T_{17}-t_{48})}{\ln \frac{(T_{16}-t_{49})}{(T_{17}-t_{48})}} \quad (3.100)$$

Donde:

- T_{16} : Temperatura de entrada del fluido caliente (°C).
- T_{17} : Temperatura de salida del fluido caliente (°C).
- t_{48} : Temperatura de entrada del fluido frío (°C).
- t_{49} : Temperatura de salida del fluido frío (°C).

Se obtiene que $DTLM_{E08} = 23,27$ K.

El siguiente paso a seguir es realizar el cálculo del factor de corrección (F_{E08}). Se debe de tener en cuenta que F_{E08} es un parámetro que depende de R_{E08} y P_{E08} .

$$R_{E08} = \frac{T_{16}-T_{17}}{t_{49}-t_{48}} \quad (3.101)$$

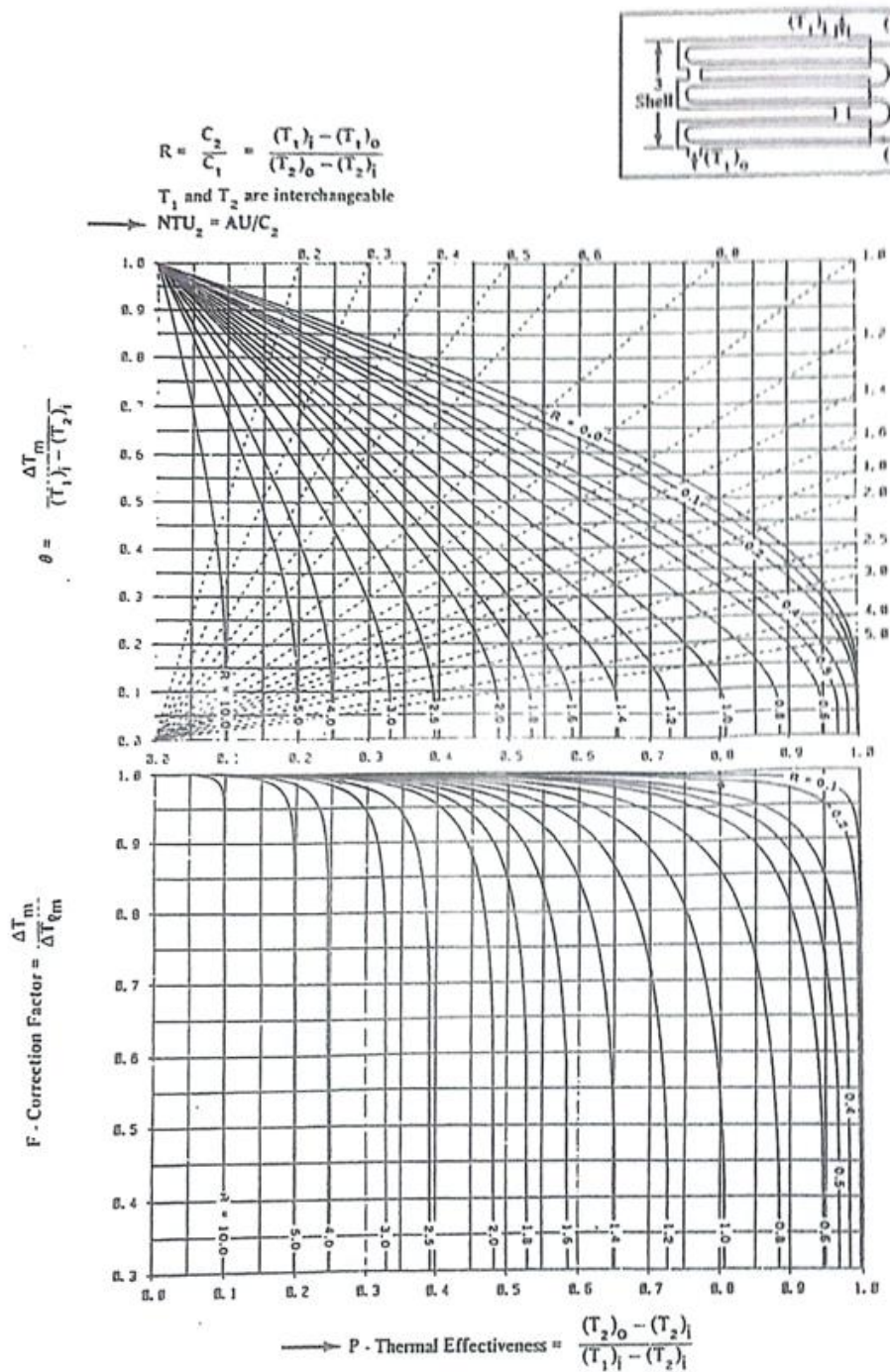
$$P_{E08} = \frac{t_{49}-t_{48}}{T_{16}-t_{48}} \quad (3.102)$$

Obteniéndose como resultado:

$$R_{E08} = 0,3$$

$$P_{E08} = 0,833$$

Utilizando la gráfica que se muestra a continuación, se obtiene el valor de F_{E08} .



Gráfica 4.1.3: Diferencia media de temperatura: Intercambiador de carcasa y tubos tipo E con tres pasos por carcasa y dos o más pasos por tubos.

Figura 61 Diferencia media de temperatura. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

El valor de $F_{E08} = 0,98$.

A continuación, es necesario determinar el coeficiente global de transferencia (U_{E08}), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$U_{E08} = \frac{1}{\frac{D_{ext E08}}{D_{int E08}} \left(\frac{1}{h_{int E08}} + F_{s int E08} \right) + \frac{1}{h_{ext E08}} + F_{s ext E08}} \quad (3.103)$$

Donde:

- $D_{ext E08}$: Diámetro externo de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $D_{int E08}$: Diámetro interno de los tubos del intercambiador de calor (m).
- $h_{int E08}$: Coeficiente de transferencia interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $h_{ext E08}$: Coeficiente de transferencia externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$.
- $F_{s int E08}$: Factor de ensuciamiento interno $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.
- $F_{s ext E08}$: Factor de ensuciamiento externo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.

Se debe de tener en cuenta que:

$$F_{s int E08} = 0 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$F_{s ext E08} = 0,00205 \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right).$$

$$D_{ext E08} = 0,0635 \text{ (m)}.$$

Para determinar $D_{int E08}$, se utiliza la siguiente ecuación, cuya relación viene determinada por tablas y en función de $D_{ext E08}$.

Tabla 54 Características del tubo. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

O.D. of Tubing	E.W.G. Gauge	Thick-ness Inches	Internal Area Sq. Inch	Sq. Ft. External Surface Per Foot Length	Sq. Ft. Internal Surface Per Foot Length	Weight Per Ft. Length Lbs.*	I. D. Tubing Inches	Moment of Inertia Inches ⁴	Section Modulus Inches ³	Radius of Gyration Inches	Constant C**	O. D. — I. D.	Metal Area (Transverse Metal Area) Sq. Inch
1/4	22	.028	.0295	.0655	.0508	.066	.194	.00012	.00098	.0792	46	1.289	.0195
1/4	24	.022	.0333	.0655	.0539	.054	.206	.00011	.00083	.0810	52	1.214	.0159
1/4	26	.018	.0360	.0655	.0560	.045	.214	.00009	.00071	.0824	58	1.168	.0131
3/8	18	.049	.0603	.0962	.0725	.171	.277	.00068	.0036	.1164	94	1.354	.0502
3/8	20	.035	.0731	.0962	.0798	.127	.305	.00055	.0029	.1213	114	1.233	.0374
3/8	22	.028	.0799	.0962	.0835	.104	.319	.00046	.0025	.1227	125	1.176	.0305
3/8	24	.022	.0860	.0962	.0867	.083	.331	.00038	.0020	.1248	134	1.133	.0244
1/2	16	.065	.1075	.1309	.0969	.202	.370	.0022	.0086	.1556	168	1.351	.0888
1/2	18	.049	.1269	.1309	.1052	.236	.402	.0018	.0072	.1606	198	1.244	.0634
1/2	20	.035	.1452	.1309	.1126	.174	.430	.0014	.0056	.1649	227	1.162	.0511
1/2	22	.028	.1548	.1309	.1162	.141	.444	.0012	.0046	.1671	241	1.126	.0415
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.402	.407	.0061	.0197	.1864	283	1.536	.177
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.537	.435	.0057	.0183	.1903	322	1.437	.158
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.479	.459	.0053	.0170	.1938	358	1.362	.141
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.425	.481	.0049	.0156	.1971	383	1.299	.125
5/8	16	.065	.1924	.1636	.1296	.388	.495	.0045	.0145	.1992	400	1.263	.114
5/8	17	.058	.2033	.1636	.1333	.350	.509	.0042	.0134	.2016	417	1.228	.103
5/8	18	.049	.2121	.1636	.1380	.303	.527	.0037	.0118	.2043	440	1.186	.089
5/8	19	.042	.2296	.1636	.1416	.262	.541	.0033	.0105	.2068	458	1.155	.077
5/8	20	.035	.2419	.1636	.1453	.221	.555	.0028	.0091	.2089	477	1.126	.065
3/4	10	.154	.1523	.1963	.1262	.884	.482	.0129	.0244	.2229	285	1.556	.260
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1325	.809	.510	.0122	.0226	.2267	319	1.471	.238
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.748	.532	.0116	.0209	.2299	347	1.410	.220
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.666	.560	.0107	.0285	.2340	384	1.329	.196
3/4	14	.083	.2675	.1963	.1529	.592	.584	.0098	.0262	.2376	418	1.284	.174
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.520	.606	.0089	.0238	.2410	450	1.238	.153
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.476	.620	.0083	.0221	.2433	471	1.210	.140
3/4	17	.058	.3157	.1963	.1660	.428	.634	.0076	.0203	.2455	492	1.183	.126
3/4	18	.049	.3339	.1963	.1707	.367	.652	.0067	.0178	.2484	521	1.150	.108
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1760	.269	.680	.0050	.0134	.2532	567	1.103	.079
7/8	10	.134	.2082	.2291	.1589	1.061	.607	.0221	.0505	.2662	451	1.441	.312
7/8	11	.120	.2166	.2291	.1662	.969	.635	.0208	.0475	.2703	494	1.378	.285
7/8	12	.109	.2350	.2291	.1720	.891	.657	.0196	.0449	.2736	529	1.322	.262
7/8	13	.095	.2585	.2291	.1793	.792	.685	.0180	.0411	.2778	575	1.277	.232
7/8	14	.083	.2948	.2291	.1856	.704	.709	.0164	.0374	.2815	616	1.234	.207
7/8	16	.065	.3359	.2291	.1950	.561	.745	.0137	.0312	.2873	680	1.174	.165
7/8	18	.049	.3742	.2291	.2034	.432	.777	.0109	.0249	.2925	740	1.126	.127
7/8	20	.035	.4090	.2291	.2107	.313	.805	.0082	.0187	.2972	794	1.087	.092
1	8	.165	.3526	.2618	.1754	1.462	.670	.0292	.0784	.3009	550	1.493	.420
1	10	.134	.4206	.2618	.1916	1.237	.732	.0250	.0700	.3098	656	1.366	.364
1	11	.120	.4536	.2618	.1990	1.129	.760	.0227	.0654	.3140	708	1.316	.322
1	12	.109	.4831	.2618	.2047	1.037	.782	.0207	.0615	.3174	749	1.279	.305
1	13	.095	.5153	.2618	.2121	.918	.810	.0200	.0559	.3217	804	1.235	.270
1	14	.083	.5460	.2618	.2183	.813	.834	.0253	.0507	.3255	852	1.199	.239
1	15	.072	.5755	.2618	.2241	.714	.856	.0227	.0455	.3291	898	1.167	.210
1	16	.065	.5945	.2618	.2278	.649	.870	.0210	.0419	.3314	927	1.149	.191
1	18	.049	.6320	.2618	.2361	.496	.902	.0166	.0332	.3366	997	1.109	.146
1	20	.035	.6733	.2618	.2435	.360	.930	.0124	.0247	.3414	1060	1.075	.106
1-1/4	7	.160	.4221	.3272	.2330	2.057	.890	.0890	.1425	.3836	970	1.404	.605
1-1/4	8	.165	.5540	.3272	.2409	1.921	.920	.0847	.1355	.3880	1037	1.359	.565
1-1/4	10	.134	.7574	.3272	.2571	1.598	.962	.0741	.1186	.3974	1182	1.273	.470
1-1/4	11	.120	.8012	.3272	.2644	1.448	1.010	.0680	.1100	.4018	1250	1.228	.426
1-1/4	12	.109	.8355	.3272	.2702	1.329	1.032	.0642	.1027	.4052	1305	1.211	.391
1-1/4	13	.095	.8825	.3272	.2775	1.173	1.060	.0579	.0926	.4097	1377	1.179	.345
1-1/4	14	.083	.9288	.3272	.2838	1.033	1.084	.0521	.0833	.4136	1440	1.153	.304
1-1/4	16	.065	.9652	.3272	.2932	.823	1.120	.0426	.0682	.4196	1537	1.116	.242
1-1/4	18	.049	1.002	.3272	.3016	.629	1.152	.0334	.0534	.4250	1626	1.085	.185
1-1/4	20	.035	1.094	.3272	.3089	.456	1.160	.0247	.0395	.4287	1707	1.059	.134
1-1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.955	1.232	.1354	.1806	.4853	1860	1.218	.575
1-1/2	12	.109	1.291	.3927	.3356	1.610	1.262	.1159	.1546	.4933	2014	1.170	.476
1-1/2	14	.083	1.398	.3927	.3492	1.258	1.334	.0931	.1241	.5018	2181	1.124	.370
1-1/2	16	.065	1.476	.3927	.3567	.996	1.370	.0756	.1008	.5079	2299	1.095	.293
2	11	.120	2.432	.5236	.4608	2.410	1.760	.3144	.3144	.6660	3795	1.136	.709
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.934	1.810	.2566	.2566	.6744	4014	1.105	.569
2-1/2	8	.148	2.615	.6540	.5770	3.719	2.204	.7592	.6074	.8332	5951	1.134	1.094

*Weights are based on low carbon steel with a density of 0.2832#/inch³. For other metals multiply by the following factors:
 Aluminum 0.35
 A.I.S.I. 400 Series Stainless Steels 0.99
 A.I.S.I. 300 Series Stainless Steels 1.02
 Aluminum Bronze 1.04
 Aluminum Brass 1.06
 Nickel-Chrome-Iron 1.07
 Admiralty 1.09
 Nickel and Nickel-Copper 1.12
 Copper and Cupro-Nickels 1.14

**Liquid Velocity = $\frac{\text{Lbs. Per Tube Per Hour}}{C \times \text{SP. GR. of Liquid}}$ In feet per sec. (Sp. Gr. of Water at 60°F. = 1.0)

Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Fourth Ed. (1959), by permission.

$$\frac{D_{\text{ext E08}}}{D_{\text{int E08}}} = 1,134 \quad (3.104)$$

Dando lugar a que $D_{\text{int E08}} = 0,056 \text{ m}$.

Por otro lado, el coeficiente de transferencia externa ($h_{\text{ext E08}}$), se puede aproximar a su valor gracias a la siguiente ecuación.

$$h_{\text{ext E08}} = v_{\text{E08}}^{0,55} \quad (3.105)$$

Siendo v_{E08} la velocidad del fluido por el intercambiador y teniendo esta un valor de 22 m/s.

Para finalizar con el cálculo del coeficiente global de transferencia (U_{E08}), se debe de calcular el valor del coeficiente de transferencia interno ($h_{\text{int E08}}$). Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Nu_{E08} = \frac{h_{int\ E08} * D_{int\ E08}}{K_{E08}} \quad (3.106)$$

Donde:

- Nu_{E08} : Número de Nusselt para el intercambiador E 08.
- K_{E08} : Conductividad térmica del intercambiador E 08.

Para poder determinar el número de Nusselt, es necesario calcular el número de Reynolds y aplicar la correlación correspondiente de la Tabla 55.

$$Re_{E08} = \frac{4 * F_{16} * \frac{365}{HF * 3600}}{\pi * D_{int\ E08} * \mu_{E08} * \frac{N_{tubos\ E08}}{N_{pasos\ E08}}} \quad (3.107)$$

Donde:

- F_{16} : Flujo de corriente de proceso ($NO + NO_2 + N_2O_4 + \text{aire} + H_2O$) que atraviesa el intercambiador (kg/día).
- HF : Horas de funcionamiento.
- μ_{E08} : Viscosidad de la corriente.
- $N_{tubos\ E08}$: Número de tubos del intercambiador E 08.
- $N_{pasos\ E08}$: Número de pasos del intercambiador E 08.

Para poder determinar el número de Reynolds, se imponen los siguientes parámetros:

$$N_{tubos\ E08} = 450$$

$$N_{pasos\ E08} = 4$$

El valor de F_8 se ha obtenido del balance de materia (BM), $F_{16} = 228946$ kg/día. Por otro lado, la viscosidad va a determinar de las condiciones de entrada de la corriente al intercambiador (parámetro calculado en el EES).

Debido a que Re_{E08} presenta un valor alto, se determina que se encuentra en régimen turbulento, por lo tanto, se tiene que utilizar la siguiente correlación como se muestra en la Tabla 55.

Tabla 55 Correlaciones a utilizar. (Velázquez, Tablas y Gráficos, Tecnología Energética).

Tabla 6.6: Correlaciones conv. forzada, flujo interno, conducto circular

Conducto circular				
Nº	Correlación	Condiciones de aplicación	Tª Propiedades	Nombre
18	$x_{ent,s} \approx 0.0575 D Re_D Pr$	Laminar, Región de entrada térmica		
19	$f = 64/Re_D$	Laminar, complet. desarrollado		
20	$f = 0.316 Re_D^{-1/4}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D \leq 2 \cdot 10^4$		
21	$f = 0.184 Re_D^{-1/5}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $Re_D > 2 \cdot 10^4$		
22	$f = (0.790 \ln(Re_D) - 1.64)^{-2}$	Turbulento, complet. desarrollado, sup. no rugosa, $3000 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$		Petukhov
23	$Nu_D = 3.66$	Laminar, completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
24	$Nu_D = 4.36$	Laminar, completamente desarrollado, q_s cte, $Pr \geq 0.6$	Tª media masa	
25	$Nu_D = 3.66 + \frac{0.0668(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{1/3}}$	Laminar, entrada térmica con perfil de velocidad completamente desarrollado, T_s cte, $Pr \gg 1$ o zona inicial sin transferencia de calor	Tª media masa	Hausen
26	$Nu_D = 1.86 \left(\frac{Re_D Pr}{L/D} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Laminar, ent. térmica e hidrodinámica, T_s cte, $0.48 \leq Pr < 16700$, $[Re_D Pr/(L/D)]^{1/3} (\mu/\mu_s)^{0.14} \geq 2$, $0.0044 < (\mu/\mu_s) < 9.75$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
27	$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n$	Turbulento, complet. desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.6 \leq Pr < 160$, $(L/D) > 10$, $n = 0.4$ para $T_s > T_m$, $n = 0.3$ para $T_s < T_m$	Tª media masa	Dittus-Boelter
28	$Nu_D = 0.027 Re_D^{4/5} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$	Turbulento, completamente desarrollado, $Re_D > 10000$, $0.7 \leq Pr < 16700$, $(L/D) > 10$	Tª media masa, menos μ_s a T_s	Sieder y Tate
29	$Nu_D = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{1/3} - 1)}$	Turbulento, completamente desarrollado, $3000 < Re_D < 5 \cdot 10^6$, $0.5 \leq Pr < 2000$, $(L/D) > 10$, f : Corr. 19 a 22 ó Ábaco de Moody (Gráfica 6.11)	Tª media masa	Gnielinski
30	$Nu_D = 4.82 + 0.0185(Re_D Pr)^{0.822}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, q_s uniforme, $3600 < Re_D < 9.05 \cdot 10^5$, $10^2 < Pe_D < 10^4$	Tª media masa	Skupinski
31	$Nu_D = 5.0 + 0.025 Pe_D^{0.8}$	Turbulento, metales líq., complet. desarrollado, T_s uniforme, $Pe_D > 100$	Tª media masa	Seban y Shimazaki

- La temperatura media de masa es la media aritmética de las temperaturas de masa T_m .
 - Para la correlaciones (26) y (28) las propiedades se evalúan a la temperatura media de masa, salvo μ_s que se evalúa a la temperatura superficial.
 - Las correlaciones (27) a (31) pueden utilizarse para calcular Nu local y medio.
 - Las correlaciones para transferencia de masa pueden obtenerse sustituyendo en las correlaciones anteriores Nu y Pr por Sh y Sc respectivamente.

$$Nu_{E08} = 0,023 * Re_{E08}^{4/5} * Pr_{E08}^{n_{E08}} \quad (3.108)$$

Donde:

- Pr_{E08} : Número de Prandtl.
- n_{E08} : Valor que depende de la correlación y condiciones de operación (en este caso su valor es de 0,4).

$$Pr_{E08} = \frac{c_{pE08} * \mu_{E08} * 1000}{k_{E08}} \quad (3.109)$$

Donde:

- c_{pE08} : Calor específico de la corriente.

Tras estos breves cálculos y sustituyendo en las ecuaciones (3.103) y (3.106) se determinan $h_{int E08}$ y U_{E08} .

Para finalizar con el dimensionamiento del intercambiador E 08, es necesario determinar el área de la carcasa, para ello se empleará la siguiente ecuación:

$$A_{carcasa E08} = \frac{A_{E08}}{N_{carcasa E08}} \quad (3.110)$$

Se impone que $N_{carcasa E08} = 3$, este valor se obtiene de la Figura 61. Tras este breve cálculo determinamos el área de la carcasa del intercambiador presente.

$$A_{carcasa E08} = \pi * D_{ext E08} * L_{E08} * N_{carcasa E08} \quad (3.111)$$

Con la ecuación anterior determinamos la longitud de cada una de las carcasas, $L_{E08} = 1,58$ m.

3.6.3. Reactor

El reactor es un recipiente donde tiene lugar una reacción química y se encuentra en unas condiciones de operación previamente definida, para transformar la materia prima que le entra en productos y subproductos (generalmente tiene mayor valor añadido que la materia prima). Además, en estos equipos se encuentra un catalizador que favorece a la reacción.

La operación con un reactor suele ser compleja, así como su dimensionamiento, ya que está definido por la cinética de las reacciones que se producen en dicho recipiente. El reactor se espera que opere con la mayor selectividad y seguridad, además de con el menor coste y emisiones ambientales.

- **R 01. (Guillén, 2020)**

El reactor de flujo pistón R 01, es uno de los equipos principales en la planta de ácido nítrico, ya que es el equipo que permite que se produzca la oxidación del NH_3 .

Para el dimensionamiento del reactor se emplea la cinética establecida (Salam et al., 2016):

$$(-r_{\text{NH}_3}) = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot \exp\left(\frac{10850}{T}\right) \cdot P_{\text{NH}_3} \cdot P_{\text{O}_2}}{1 + 4 \cdot 10^5 \cdot \exp\left(\frac{12750}{T}\right) \cdot P_{\text{NH}_3}} \cdot 10000 \quad (3.112)$$

Donde:

- $(-r_{\text{NH}_3})$: Velocidad de consumo del amoníaco $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2_{\text{catalizador}} \cdot \text{s}}\right)$.
- T: Temperatura de operación del reactor (K).
- P_{NH_3} : Presión parcial del amoníaco (bar).
- P_{O_2} : Presión parcial del oxígeno (bar).

La ecuación (3.112) se puede modificar y dejar dicha expresión en función de la conversión:

$$(-r_{\text{NH}_3}) = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot \exp\left(\frac{10850}{T}\right) \cdot C_{\text{NH}_3,0} \cdot C_{\text{O}_2,0} \cdot (1 - X_{\text{conv}}) \cdot \left(1 - \frac{5}{4} X_{\text{conv}}\right) \cdot (R \cdot T)^2}{1 + 4 \cdot 10^5 \cdot \exp\left(\frac{12750}{T}\right) \cdot C_{\text{NH}_3,0} \cdot (1 - X_{\text{conv}}) \cdot R \cdot T} \quad (3.113)$$

Donde:

- $C_{\text{NH}_3,0}$: Concentración de amoníaco en el punto inicial del reactor $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$.
- $C_{\text{O}_2,0}$: Concentración de oxígeno en el punto inicial del reactor $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$.
- X_{conv} : Conversión del amoníaco.
- R: Constante de los gases ideales $\left(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right)$.

Para determinar las concentraciones de los compuestos en la cinética, se emplea la siguiente ecuación:

$$C_i = \frac{P}{R \cdot T} \quad (3.114)$$

Donde:

- C_i : Concentración de un compuesto $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$.

- P: Presión de operación (bar).
- R: Constante de los gases ideales $\left(0,000082 \frac{\text{bar}\cdot\text{m}^3}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right)$.
- T: Temperatura de operación (K).

La ecuación (3.113) define la velocidad de reacción en función de la conversión del amoníaco, y esta puede ser obtenida debido a que se conocen todos los parámetros.

Tras la obtención de la cantidad de catalizador que es necesaria para la operación, se continua con el dimensionamiento del reactor, ya que el parámetro fundamental a determinar es el volumen de este, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{SV} \quad (3.115)$$

Donde:

- V: Volumen útil del reactor (m^3).
- Q: Caudal volumétrico a la entrada del reactor.
- SV: Velocidad espacial. Para determinar el valor de SV se ha empleado la recomendación de Shipley, 1998. $SV = 2 * 10^5 \text{ h}^{-1}$.

Despejando de la ecuación (3.115), se obtiene que el volumen útil, $V = 1,55 \text{ m}^3$.

Una vez determinado el volumen del reactor, se puede calcular el diámetro de este, utilizando la siguiente expresión:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} * \Delta y \quad (3.116)$$

Donde:

- D: Diámetro interno del reactor (m).
- Δy : Altura del lecho (m).

Para determinar la altura del lecho, se emplea la siguiente expresión:

$$\Delta y = \frac{\mu}{SV} \quad (3.117)$$

Siendo μ la velocidad lineal del gas y teniendo esta un valor de 4000 m/h (valor recomendado por Shipley, 1998).

Despejando de las ecuaciones (3.116) y (3.117), se obtiene el diámetro interno del reactor.

Para finalizar el dimensionamiento del reactor, se debe de tener en cuenta que se tiene que dejar 2 m antes y después del lecho, con el fin de que se produzca la correcta mezcla de los gases de reacción.

3.6.4. Mezclador

Los mezcladores son unos equipos cuyo objetivo consiste en mezclar o combinar las diferentes corrientes de un proceso con el fin de que la mezcla resultante sea homogénea. Cabe destacar que este equipo se utiliza ampliamente en la industria.

- **MX 01**

El mezclador es un equipo de vital importancia, ya que promueve la formación de óxido nítrico y reduce las reacciones secundarias. Para el dimensionamiento de este equipo se debe de tener en cuenta que se requiere que mezcle una cantidad de 15762 kg/día de NH_3 y 253688 kg/día de aire. Debido a la falta de información para el dimensionamiento de este equipo, así como debido a los grandes caudales que necesita mezclar y a los posibles problemas de corrosión, se requiere de un diseño muy especializado por empresas expertas en el sector debido a las especificaciones de este equipo. Las especificaciones para este equipo vienen determinadas en el apartado “Hojas de especificaciones”.

3.6.5. Equipos de separación

Los equipos de separación son dispositivos que permiten separar una mezcla líquido-vapor (L-V), sólido-líquido (S-L), líquido-líquido (L-L), etc. En la planta de ácido nítrico las separaciones que se producen son (L-V) mediante el empleo de una columna de absorción y un blanqueador, los cuales permiten que el producto obtenido (HNO_3) tenga las condiciones y caudal deseado.

- **CA 01. (Fernández)**

La columna de absorción (CA 01) también forma parte de los equipos principales, ya que este equipo permite la absorción de los gases, provocando la salida de los NO_x (gas de cola) y permite la obtención de ácido nítrico. Para el dimensionamiento de este equipo se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{\text{alim}} = \rho_{\text{med}} * Q_{\text{alim}} \quad (3.118)$$

Donde:

- F_{alim} : Sumatorio del caudal másico de las corrientes que entran a CA 01 $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- Q_{alim} : Sumatorio del caudal volumétrico de las corrientes que entran a CA 01 $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$.
- ρ_{med} : Densidad media de las corrientes $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Tras la obtención del caudal volumétrico (Q_{alim}), se puede obtener el volumen de la columna de absorción:

$$V_{\text{CA 01}} = Q_{\text{alim}} * t \quad (3.119)$$

Siendo:

- $V_{\text{CA 01}}$: Volumen de la columna de absorción (m^3).
- Q_{alim} : Caudal de alimentación de la columna de absorción $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$.
- t : Tiempo de operación (días).

Despejando de la ecuación (3.119), se obtiene el volumen de la columna de absorción. Por otro lado, se puede determinar el área de dicha columna, sabiendo que:

$$V_{\text{CA 01}} = A_{\text{CA 01}} * H_{\text{Ca 01}} \quad (3.120)$$

Donde:

- $A_{CA\ 01}$: Área de la columna de absorción (m^2).
- $H_{Ca\ 01}$: Altura de la columna de absorción. Se impone que la altura de la columna es de 10 m.

Tras la determinación de $A_{CA\ 01}$, se puede determinar el diámetro de esta empleando la siguiente expresión:

$$A_{CA\ 01} = \frac{\pi \cdot D_{CA\ 01}^2}{4} \quad (3.121)$$

Se determina que el diámetro de la columna de absorción, $D_{CA\ 01} = 3,82\ m$.

• BL 01

El blanqueador es un equipo que permite separar los NOx que carecen de interés del producto. El dimensionamiento de este equipo es fundamental para obtener el HNO₃ con un 60% de concentración (ácido nítrico débil) y en las condiciones de almacenamiento deseadas. Debido a la falta de información y especificaciones de este equipo no se dispone de la suficiente información para su dimensionamiento, debido a que es un equipo con altas especificaciones y es necesario que lo ejecuten empresas especializadas en el sector. Las especificaciones para este equipo vienen determinadas en el apartado “Hojas de especificaciones”.

3.6.6. Filtros

Los filtros son equipos cuyo objetivo consiste en separar las impurezas de partículas en las corrientes del proceso. Existen diversos tipos de filtros, con diferentes formas y estructuras, pero todos ellos presentan el mismo objetivo, ya sea para captar partículas de mayor o menor tamaño.

• F 01

Como se ha mencionado anteriormente, los filtros son equipos necesarios evitar que las impurezas o inertes lleguen a nuestro producto final.

El dimensionamiento de este filtro es específico para una corriente donde se encuentra una mezcla de NO + aire. Para comenzar con el dimensionamiento se debe tener en cuenta que:

$$F_5 \cdot \frac{365}{HF \cdot 3600} = Q_5 \cdot \rho_{med\ F01} \quad (3.122)$$

Donde:

- F_5 : Corriente de entrada al filtro de manga (kg/día).
- HF: Horas de funcionamiento.
- Q_5 : Corriente volumétrica de entrada al filtro de manga (m^3/s)
- $\rho_{med\ F01}$: Densidad media de la corriente de entrada al filtro (kg/m^3). Este parámetro es función de la temperatura y presión de entrada al filtro (T_5 y P_5).

Tras la obtención del caudal volumétrico que entra en el filtro de manga, se puede calcular el caudal volumétrico a condiciones normales de operación ($V_{g\ F01}$) a la temperatura de entrada en el filtro (T_5).

$$V_{g\ F01} = Q_5 * \left(\frac{273+T_5}{273} \right) \quad (3.123)$$

Una vez definido esos parámetros, se calcula el área del filtro con la siguiente ecuación:

$$A_{F01} = \frac{V_{g\ F01}}{w_{F01}} \quad (3.124)$$

Donde:

- A_{F01} : Área del filtro de manga (m^2).
- $V_{g\ F01}$: Caudal volumétrico en condiciones normales (m^3/s).
- w_{F01} : Velocidad filtrado (m/s).

Resolviendo dicha ecuación, se obtiene que el área del filtro $A_{F01} = 318,2\ m^2$.

Además, imponiendo las dimensiones de diámetro y largo de cada una de las mangas, se obtiene el área de cada una de las mangas.

$$Dm_{F01} = 0,4\ m$$

$$Lm_{F01} = 1\ m$$

$$Am_{F01} = \pi * Dm_{F01} * Lm_{F01} \quad (3.125)$$

Se obtiene que $Am_{F01} = 1,257\ m^2$ para cada una de las mangas.

Por último, se determina el número de mangas necesarios para el filtro, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nm_{F01} = \frac{A_{F01}}{Am_{F01}} \quad (3.126)$$

El número de mangas necesarios para este filtro es $Nm_{F01} = 253$ mangas.

• F 02

Al igual que F 01, F 02 presenta el mismo objetivo que el anterior, que consiste en evitar que las impurezas o inertes lleguen a nuestro producto final.

El dimensionamiento de este filtro es específico para una corriente de aire. Para comenzar con el dimensionamiento se debe tener en cuenta que:

$$F_{25} * \frac{365}{HF*3600} = Q_{25} * \rho_{med\ F02} \quad (3.127)$$

Donde:

- F_{25} : Corriente de entrada al filtro de manga ($kg/día$).
- HF : Horas de funcionamiento.
- Q_{25} : Corriente volumétrica de entrada al filtro de manga (m^3/s)
- $\rho_{med\ F02}$: Densidad media de la corriente de entrada al filtro (kg/m^3). Este parámetro es función de la temperatura y presión de entrada al filtro (T_{25} y P_{25}).

Tras la obtención del caudal volumétrico que entra en el filtro de manga, se puede calcular el caudal volumétrico a condiciones normales de operación ($V_{g\ F02}$) a la temperatura de entrada en el filtro (T_{25}).

$$V_{g\ F02} = Q_{25} * \left(\frac{273+T_{25}}{273} \right) \quad (3.128)$$

Una vez definido esos parámetros, se calcula el área del filtro con la siguiente ecuación:

$$A_{F02} = \frac{V_{g\ F02}}{w_{F02}} \quad (3.129)$$

Donde:

- A_{F02} : Área del filtro de manga (m^2).
- $V_{g\ F02}$: Caudal volumétrico en condiciones normales (m^3/s).
- w_{F02} : Velocidad filtrado (m/s).

Resolviendo dicha ecuación, se obtiene que el área del filtro $A_{F02} = 259,3\ m^2$.

Además, imponiendo las dimensiones de diámetro y largo de cada una de las mangas, se obtiene el área de cada una de las mangas.

$$Dm_{F02} = 0,4\ m$$

$$Lm_{F02} = 1\ m$$

$$Am_{F02} = \pi * Dm_{F02} * Lm_{F02} \quad (3.130)$$

Se obtiene que $Am_{F02} = 1,257\ m^2$ para cada una de las mangas.

Por último, se determina el número de mangas necesarios para el filtro, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$Nm_{F02} = \frac{A_{F01}}{Am_{F01}} \quad (3.131)$$

El número de mangas necesarios para este filtro es $Nm_{F01} = 207$ mangas.

3.6.7. Compresores. (Villanueva)

Los compresores son equipos que aumentan la presión de un determinado fluido mediante un intercambio energético. En la presente planta, los compresores se encargan de aumentar la presión del aire con el fin de que esté en las condiciones de operación del propio reactor.

- **C 01**

Este compresor se va a dimensionar para que genere un aumento de la presión del aire en la planta de ácido nítrico. Para el correcto dimensionamiento del compresor, se toma de punto de partida cuales son las condiciones de temperatura y presión de la corriente que entra en el equipo. En este caso son las siguientes:

$$T_{26} = 35\ ^\circ C$$

$$P_{26} = 1\ bar$$

Con los datos de presión y temperatura, se impone el rendimiento mínimo con el que queremos que opere el compresor.

$$\eta_{C01} = 0,8$$

Una vez determinada las condiciones de operación y eficiencia del compresor, se sabe que el rendimiento/eficiencia se representa mediante la siguiente ecuación.

$$\eta_{C01} = \frac{H_{total\ 29s} - H_{total\ 26}}{H_{total\ 29} - H_{total\ 26}} \quad (3.132)$$

Debido a que se conocen la temperatura y presión de la corriente de entrada (T_{26} y P_{26}), se puede determinar la entalpía de la corriente de entrada $H_{total\ 26}$.

Una característica a destacar de los compresores es que son isentrópicos, por lo que la entropía de la entrada es la misma que la de la salida.

$$S_{29s} = S_{26} \quad (3.133)$$

Debido a esta igualdad característica de los compresores, se conoce la entropía del equipo, ya que S_{26} es un parámetro función de T_{26} y P_{26} ambas conocidas. Por lo tanto, $H_{total\ 29s}$ es conocida debido a que es función de S_{29s} y se despeja de la ecuación (3.132), $H_{total\ 29}$.

Por último, se determina la potencia del compresor, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_{C01} = F_{29} * (H_{total\ 29} - H_{total\ 26}) * \frac{365}{HF * 3600} \quad (3.134)$$

Donde:

- W_{C01} : Potencia del compresor en kW.
- F_{29} : Corriente de salida del compresor que es igual a la corriente de entrada (kg/día).
- $H_{total\ 29}$: Entalpía de la corriente de salida (kJ/kg).
- $H_{total\ 26}$: Entalpía de la corriente de entrada (kJ/kg).
- HF: Horas de funcionamiento.

Resolviendo la ecuación anterior, se obtiene que la potencia del compresor es de $W_{C01} = 652,8$ kW.

• C 02

Este compresor se va a dimensionar para que genere un aumento de la presión del aire en la planta de ácido nítrico. Para el correcto dimensionamiento del compresor, se toma de punto de partida cuales son las condiciones de temperatura y presión de la corriente que entra en el equipo. En este caso son las siguientes:

$$T_{30} = 35\ ^\circ\text{C}$$

$$P_{30} = 3,521\ \text{bar}$$

Con los datos de presión y temperatura, se impone el rendimiento mínimo con el que queremos que opere el compresor.

$$\eta_{C02} = 0,8$$

Una vez determinada las condiciones de operación y eficiencia del compresor, se sabe que el rendimiento/eficiencia se representa mediante la siguiente ecuación.

$$\eta_{C02} = \frac{H_{total\ 33s} - H_{total\ 30}}{H_{total\ 33} - H_{total\ 30}} \quad (3.135)$$

Debido a que se conocen la temperatura y presión de la corriente de entrada (T_{30} y P_{30}), se puede determinar la entalpía de la corriente de entrada $H_{total\ 30}$.

Una característica a destacar de los compresores es que son isentrópicos, por lo que la entropía de la entrada es la misma que la de la salida.

$$S_{33s} = S_{30} \quad (3.136)$$

Debido a esta igualdad característica de los compresores, se conoce la entropía del equipo, ya que S_{30} es un parámetro función de T_{30} y P_{30} ambas conocidas. Por lo tanto, $H_{total\ 33s}$ es conocida debido a que es función de S_{33s} y se despeja de la ecuación (3.135), $H_{total\ 33}$.

Por último, se determina la potencia del compresor, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_{C02} = F_{33} * (H_{total\ 33} - H_{total\ 30}) * \frac{365}{HF * 3600} \quad (3.137)$$

Donde:

- W_{C02} : Potencia del compresor en kW.
- F_{33} : Corriente de salida del compresor que es igual a la corriente de entrada (kg/día).
- $H_{total\ 33}$: Entalpía de la corriente de salida (kJ/kg).
- $H_{total\ 30}$: Entalpía de la corriente de entrada (kJ/kg).
- HF: Horas de funcionamiento.

Resolviendo la ecuación anterior, se obtiene que la potencia del compresor es de $W_{C02} = 674,7$ kW.

3.6.8. Bombas (Cañada)

Las bombas centrífugas se emplean en la planta de HNO_3 debido a que son capaces de transformar la energía mecánica en energía cinética, es decir, estos equipos tienen como finalidad aumentar la velocidad de los fluidos que circulan por ella con el fin de que puedan ser desplazados a grandes distancias.

• P 01

P 01 hace referencia a la bomba de impulsión del amoníaco para hacerlo llegar al intercambiador de calor E 01. Para el dimensionamiento de este equipo es necesario determinar el caudal volumétrico de la corriente.

$$F_{NH_3} = Q_{NH_3} * \rho_{NH_3} \quad (3.138)$$

Donde:

- F_{NH_3} : Caudal másico de la corriente de amoníaco $\left(\frac{kg}{día}\right)$.
- Q_{NH_3} : Caudal volumétrico de amoníaco $\left(\frac{m^3}{día}\right)$.

- ρ_{NH_3} : Densidad del amoníaco en las condiciones de operación de la corriente $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Para obtener el caudal volumétrico en m^3/s , se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{NH}_3} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = Q_{\text{NH}_3} * \frac{365 \text{ días}}{\text{HF} * 3600} \quad (3.139)$$

Donde:

- HF: Horas de funcionamiento de la planta.

Tras la obtención del caudal volumétrico en (m^3/s) , es necesario determinar la potencia de la bomba, utilizando la ecuación (3.140).

$$P_{P01}(\text{kW}) = \frac{\rho_{\text{NH}_3} * 9,8 * Q_{\text{NH}_3} * \Delta h_{P01}}{1000} \quad (3.140)$$

Donde:

- P_{P01} : Potencia de la bomba (kW).
- Δh_{P01} : Altura que vence la bomba $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)$.

Para determinar Δh_{P01} , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta h_{P01}}{9,8} = \frac{(P_2 - P_1) * 100000}{\rho_{\text{NH}_3}} + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (3.141)$$

Donde:

- P_2 : Presión de salida de la bomba (bar).
- P_1 : Presión de entrada en la bomba (bar).
- u_2 : Velocidad de salida de la bomba (m/s).
- u_1 : Velocidad de entrada en la bomba (m/s).

Con el fin de simplificar los cálculos y al desconocimiento de los parámetros de velocidad, debido a que va a depender de la disposición de la planta, se supone que:

$$u_2 = u_1 = 1 \text{ m/s}$$

Sustituyendo dichos valores en la ecuación (3.140), se obtiene P_{P01} , sin embargo, el rendimiento de la bomba es del 75%, por lo que:

$$P_{P01} = \frac{P_{P01}}{\eta_{P01}} \quad (3.142)$$

Siendo:

- η_{P01} : Rendimiento de la bomba, teniendo esta un valor del 75 %.

Dando como resultado $P_{P01} = 346,5 \text{ kW}$.

Tras haber determinado los parámetros de potencia, caudal y la eficiencia requerida en la operación, el fabricante puede determinar cuál es el tipo de bomba que más se ajusta a la operación utilizando las curvas características de cada una de las bombas y seleccionando la que es más acorde de acuerdo a las especificaciones mencionadas.

- **P 02**

P02 hace referencia a la bomba de impulsión tras el enfriamiento de la corriente producto del condensador E 07. Para el dimensionamiento de este equipo es necesario determinar el caudal volumétrico de la corriente.

$$F_{\text{prod}} = Q_{\text{prod}} * \rho_{\text{prod}} \quad (3.143)$$

Donde:

- F_{prod} : Caudal másico de la corriente producto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- Q_{prod} : Caudal volumétrico de la corriente producto $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$.
- ρ_{prod} : Densidad del producto en las condiciones de operación de la corriente $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Para obtener el caudal volumétrico en m^3/s , se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) * \frac{365 \text{ días}}{\text{HF} * 3600} \quad (3.144)$$

Donde:

- HF: Horas de funcionamiento de la planta.

Tras la obtención del caudal volumétrico en (m^3/s) , es necesario determinar la potencia de la bomba, utilizando la ecuación (3.145).

$$P_{P02}(\text{kW}) = \frac{\rho_{\text{prod}} * 9,8 * Q_{\text{prod}} * \Delta h_{P02}}{1000} \quad (3.145)$$

Donde:

- P_{P02} : Potencia de la bomba (kW).
- Δh_{P02} : Altura que vence la bomba $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)$.

Para determinar Δh_{P02} , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta h_{P02}}{9,8} = \frac{(P_{11} - P_{10}) * 100000}{\rho_{\text{NH}_3}} + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (3.146)$$

Donde:

- P_{11} : Presión de salida de la bomba (bar).
- P_{10} : Presión de entrada en la bomba (bar).
- u_2 : Velocidad de salida de la bomba (m/s).
- u_1 : Velocidad de entrada en la bomba (m/s).

Con el fin de simplificar los cálculos y al desconocimiento de los parámetros de velocidad, debido a que va a depender de la disposición de la planta, se supone que:

$$u_2 = u_1 = 1 \text{ m/s}$$

Despejando de la ecuación (3.145), se obtiene P_{P01} , sin embargo, el rendimiento de la bomba es del 75%, por lo que:

$$P_{P02} = \frac{P_{P02}}{\eta_{P02}} \quad (3.147)$$

Siendo:

- η_{P02} : Rendimiento de la bomba, teniendo esta un valor del 75 %.

Dando como resultado $P_{P02} = 347,7 \text{ kW}$.

Tras haber determinado los parámetros de potencia, caudal y la eficiencia requerida en la operación, el fabricante puede determinar cuál es el tipo de bomba que más se ajusta a la operación utilizando las curvas características de cada una de las bombas y seleccionando la que es más acorde de acuerdo a las especificaciones mencionadas.

• P 03

P03 hace referencia a la bomba de impulsión desde la columna de absorción hasta el blanqueador. Para el dimensionamiento de este equipo es necesario determinar el caudal volumétrico de la corriente.

$$F_{\text{prod}} = Q_{\text{prod}} * \rho_{\text{prod}} \quad (3.148)$$

Donde:

- F_{prod} : Caudal másico de la corriente producto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- Q_{prod} : Caudal volumétrico de la corriente producto $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$.
- ρ_{prod} : Densidad del producto en las condiciones de operación de la corriente $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Para obtener el caudal volumétrico en m^3/s , se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) * \frac{365 \text{ días}}{\text{HF} * 3600} \quad (3.149)$$

Donde:

- HF: Horas de funcionamiento de la planta.

Tras la obtención del caudal volumétrico en (m^3/s) , es necesario determinar la potencia de la bomba, utilizando la ecuación (3.149).

$$P_{P03}(\text{kW}) = \frac{\rho_{\text{prod}} * 9,8 * Q_{\text{prod}} * \Delta h_{P03}}{1000} \quad (3.150)$$

Donde:

- P_{P03} : Potencia de la bomba (kW).
- Δh_{P03} : Altura que vence la bomba $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)$.

Para determinar Δh_{P03} , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta h_{P03}}{9,8} = \frac{(P_{13}-P_{12})*100000}{\rho_{NH_3}} + \frac{(u_2^2-u_1^2)}{2} \quad (3.151)$$

Donde:

- P_{13} : Presión de salida de la bomba (bar).
- P_{12} : Presión de entrada en la bomba (bar).
- u_2 : Velocidad de salida de la bomba (m/s).
- u_1 : Velocidad de entrada en la bomba (m/s).

Con el fin de simplificar los cálculos y al desconocimiento de los parámetros de velocidad, debido a que va a depender de la disposición de la planta, se supone que:

$$u_2 = u_1 = 1 \text{ m/s}$$

Despejando de la ecuación (3.149), se obtiene P_{P03} , sin embargo, el rendimiento de la bomba es del 75%, por lo que:

$$P_{P03} = \frac{P_{P03}}{\eta_{P03}} \quad (3.152)$$

Siendo:

- η_{P03} : Rendimiento de la bomba, teniendo esta un valor del 75 %.

Dando como resultado $P_{P03} = 14,39 \text{ kW}$.

Tras haber determinado los parámetros de potencia, caudal y la eficiencia requerida en la operación, el fabricante puede determinar cuál es el tipo de bomba que más se ajusta a la operación utilizando las curvas características de cada una de las bombas y seleccionando la que es más acorde de acuerdo a las especificaciones mencionadas.

• P 04

P04 hace referencia a la bomba de impulsión desde el blanqueador hasta el tanque de almacenamiento. Para el dimensionamiento de este equipo es necesario determinar el caudal volumétrico de la corriente.

$$F_{\text{prod}} = Q_{\text{prod}} * \rho_{\text{prod}} \quad (3.153)$$

Donde:

- F_{prod} : Caudal másico de la corriente producto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right)$.
- Q_{prod} : Caudal volumétrico de la corriente producto $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right)$.
- ρ_{prod} : Densidad del producto en las condiciones de operación de la corriente $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$.

Para obtener el caudal volumétrico en m^3/s , se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) = Q_{\text{prod}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right) * \frac{365 \text{ días}}{\text{HF} * 3600} \quad (3.154)$$

Donde:

- HF: Horas de funcionamiento de la planta.

Tras la obtención del caudal volumétrico en (m³/s), es necesario determinar la potencia de la bomba, utilizando la ecuación (3.155).

$$P_{P04}(\text{kW}) = \frac{\rho_{\text{prod}} * 9,8 * Q_{\text{prod}} * \Delta h_{P04}}{1000} \quad (3.155)$$

Donde:

- P_{P04} : Potencia de la bomba (kW).
- Δh_{P04} : Altura que vence la bomba $\left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)$.

Para determinar Δh_{P04} , se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta h_{P04}}{9,8} = \frac{(P_{15} - P_{14}) * 100000}{\rho_{\text{NH}_3}} + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (3.156)$$

Donde:

- P_{15} : Presión de salida de la bomba (bar).
- P_{14} : Presión de entrada en la bomba (bar).
- u_2 : Velocidad de salida de la bomba (m/s).
- u_1 : Velocidad de entrada en la bomba (m/s).

Con el fin de simplificar los cálculos y al desconocimiento de los parámetros de velocidad, debido a que va a depender de la disposición de la planta, se supone que:

$$u_2 = u_1 = 1 \text{ m/s}$$

Despejando de la ecuación (3.155), se obtiene P_{P03} , sin embargo, el rendimiento de la bomba es del 75%, por lo que:

$$P_{P04} = \frac{P_{P03}}{\eta_{P04}} \quad (3.157)$$

Siendo:

- η_{P04} : Rendimiento de la bomba, teniendo esta un valor del 75 %.

Dando como resultado $P_{P04} = 14,39 \text{ kW}$.

Tras haber determinado los parámetros de potencia, caudal y la eficiencia requerida en la operación, el fabricante puede determinar cuál es el tipo de bomba que más se ajusta a la operación utilizando las curvas características de cada una de las bombas y seleccionando la que es más acorde de acuerdo a las especificaciones mencionadas.

4 MEDICIONES Y PRECIOS. PRESUPUESTO

4.1. Introducción

En este capítulo se estimará el coste de inversión inicial de la planta de ácido nítrico para su implantación. Este capítulo está constituido por el cálculo de los costes fijos, de los equipos diseñados, su instalación y transporte. Además del cálculo de las estructuras, redes eléctricas, instrumentación o red de tuberías,

Por otro lado, también se realizan los cálculos de los costes indirectos, como construcción e ingeniería o legislación, utilizando los parámetros del dimensionamiento de los equipos que se encuentran en el apartado “Hojas de especificaciones”.

4.2. Costes de equipos (Portillo)

4.2.1. Correlaciones generales de costes empleadas

Para calcular el coste base de los equipos se usarán distintas correlaciones, como la mostrada en la ecuación (4.1), en la cual se tienen en cuenta distintos parámetros característicos de cada tipo de equipo, y su capacidad o parámetro de tamaño.

$$\log_{10}(C_{\text{equipo}}) = K_1 + K_2 \cdot \log_{10}(A) + K_3 \cdot (\log_{10}(A))^2 \quad (4.1)$$

Donde:

- C_{equipo} : Coste base de un determinado equipo en condiciones estándar, es decir, construidos a 1 bar manométrico de presión y con acero al carbono.
- K_i : Parámetros característicos de cada equipo.

Tabla 56 Parámetros K_i característicos de cada equipo. Fuente Propia.

Equipo	K_1	K_2	K_3
Bombas centrífugas	3,3892	0,0536	0,1538
Intercambiadores de calor	4,3247	-0,303	0,1634
Mezclador	3,4974	0,4485	0,1074
Filtro	3,5565	0,3376	0,0905
Compresores	2,2891	1,3604	-0,1027
Turbinas	2,7051	1,4398	-0,1776
Reactor	3,4974	0,4485	0,1074
Columna de absorción	2,9949	0,4465	0,3961
Blanqueador	2,9949	0,4465	0,3961

Tanques	3,4974	0,4485	0,1074
---------	--------	--------	--------

- A: Capacidad o parámetro de tamaño, característico de cada equipo según su función.

Tabla 57 Parámetros característicos de cada equipo. Fuente Propia.

Equipo	Capacidad (A)
Compresores, bombas, turbinas	Potencia (kW)
Intercambiadores	Área de transferencia (m ²)
Reactor, mezclador, filtro	Volumen (m ³)
Columna de absorción, blanqueador, tanques	Diámetro (m)

Debido a que la gran mayoría de los equipos presente en la planta operan a presiones superiores que 1 bar, se debe de hallar un factor de corrección, F_p .

$$\log_{10}(F_p) = C_1 + C_2 \cdot \log_{10}(P) + C_3 \cdot (\log_{10}(P))^2 \quad (4.2)$$

Siendo:

- C_i : Parámetros característicos de cada equipo.
- P: Presión de operación del sistema, medida en bar manométricos.

Tabla 58 Parámetros C_i característicos de cada equipo. Fuente Propia.

Equipos	C_1	C_2	C_3
Bombas centrífugas	-0,3935	0,3957	-0,00226
Intercambiadores de calor	-0,00164	-0,00627	0,0123
Mezclador, reactor, filtros, columna de absorción, blanqueador, compresores, turbinas y tanques de almacenamiento	0,00	0,00	0,00

Además, existe un factor corrector de material, F_m que depende del material con el que esté construido cada equipo. A continuación, se muestran las correlaciones a utilizar para determinar el coste de cada equipo.

Tabla 59 Correlaciones de coste para cada equipo. Fuente Propia.

Equipos	Correlaciones
Intercambiadores de calor, vasijas, bombas, mezclador, reactor, filtros, columna de absorción, blanqueador y tanques de almacenamiento	$C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 * B_1 + B_2 * F_M * F_p$
Compresores	$C_{T,a} = C_{\text{equipos}}^0 * F_{BM}$

4.2.2. Mediciones y precios totales de cada equipo

A continuación, se muestra una tabla donde se recoge todos los parámetros anteriormente mencionados, así como los costes calculados para cada equipo con los factores de corrección estimados.

Tabla 60 Coste base de los equipos principales Fuente Propia.

Equipos	Tag	Capacidad o tamaño	Valor de A	P (Presión de operación)	K1	K2	K3	C1	C2	C3	Coste equipo (\$)	Fp	Fm	B1	B2	Cantidad de cada equipo	Coste total equipos (\$)	Coste total equipos (€)
Bomba	P01	Potencia (kW)	346,5	12,4	3,3892	0,05336	0,1538	-0,3935	0,3957	-0,00226	32.865,69	1,09	2,30	1,89	1,35	1	173.102,46	162.716,31 €
Intercambiador	E01	Área de transferencia (m2)	305,3	12,4	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	38.074,81	1,01	2,73	1,63	1,66	1	237.094,23	222.868,58 €
Mezclador	MX01	Volumen (m3)	1,55	12,4	3,4974	0,4485	0,1074	0	0	0	3.860,60	1,00	3,10	2,25	1,82	1	30.467,83	28.639,76 €
Reactor	R01	Volumen (m3)	1,55	7,5	3,4974	0,4485	0,1074	0	0	0	3.860,60	1,00	3,10	2,25	1,82	1	30.467,83	28.639,76 €
Filtro	F01	Volumen (m3)	381,84	7,5	3,5565	0,3376	0,0905	0	0	0	107.504,41	1,00	3,10	1,49	1,52	1	666.742,34	626.737,80 €
Intercambiador	E03	Área de transferencia (m2)	125,6	7,5	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	25.621,64	1,01	2,73	1,63	1,66	1	158.489,79	148.980,40 €
Intercambiador	E04	Área de transferencia (m2)	2375	7,5	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	145.825,70	1,01	2,73	1,63	1,66	1	902.045,46	847.922,73 €
Intercambiador	E05	Área de transferencia (m2)	857	7,5	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	69.444,06	1,01	2,73	1,63	1,66	1	429.565,61	403.791,67 €
Intercambiador	E07	Área de transferencia (m2)	5385	7,5	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	294.417,86	1,01	2,73	1,63	1,66	1	1.821.203,70	1.711.931,48 €
Bomba	P02	Potencia (kW)	347,7	7,5	3,3892	0,05336	0,1538	-0,3935	0,3957	-0,00226	32.960,68	0,89	2,30	1,89	1,35	1	153.725,75	144.502,21 €
Columna de absorción	CA01	Diámetro (m)	3,816	10	2,9949	0,4465	0,3961	0	0	0	2.446,67	1,00	1,80	2,25	1,82	1	13.520,32	12.709,10 €
Bomba	P03	Potencia (kW)	14,39	15	3,3892	0,05336	0,1538	-0,3935	0,3957	-0,00226	4.542,09	1,17	2,30	1,89	1,35	1	25.106,87	23.600,46 €
Blanqueador	BL01	Diámetro (m)	3,816	10	2,9949	0,4465	0,3961	0	0	0	2.446,67	1,00	1,80	2,25	1,82	1	13.520,32	12.709,10 €
Bomba	P04	Potencia (kW)	14,39	12	3,3892	0,05336	0,1538	-0,3935	0,3957	-0,00226	4.542,09	1,07	2,30	1,89	1,35	1	23.727,75	22.304,09 €
Intercambiador	E08	Área de transferencia (m2)	425,5	10	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	45.438,01	1,01	2,73	1,63	1,66	1	282.071,94	265.147,63 €
Filtro	F02	Volumen (m3)	388,95	1	3,5565	0,3376	0,0905	0	0	0	109.114,23	1,00	3,10	1,49	1,52	1	676.726,46	636.122,87 €
Compresor	C01	Potencia (kW)	652,8	3,521	2,2891	1,3604	-0,1027	0	0	0	201.667,59	1,00	5,80	-	-	1	1.169.672,05	1.099.491,72 €
Intercambiador	E02	Área de transferencia (m2)	2790	3,521	4,3247	-0,303	0,1634	0,00164	-0,00627	0,0123	166.187,17	1,00	2,73	1,63	1,66	1	1.021.602,38	960.306,23 €
Compresor	C02	Potencia (kW)	674,7	12,4	2,2891	1,3604	-0,1027	0	0	0	206.930,75	1,00	5,80	-	-	1	1.200.198,34	1.128.186,44 €
Esfera de almacenamiento	TK01	Diámetro (m)	25	1	3,4974	0,4485	0,1074	0	0	0	21.590,42	1	1,80	2,25	1,82	1	119.308,65	112.150,14 €
Tanque de almacenamiento	TK02	Diámetro (m)	22,79	12	3,4974	0,4485	0,1074	0	0	0	20.152,87	1	1,80	2,25	1,82	3	334.094,33	314.048,67 €

La suma total de los costes principales de los equipos es de 8.913.507,16 €.

Debido a la falta de información sobre estos equipos, se puede realizar una aproximación bruta de los equipos secundarios que faltan por añadir en la planta, considerando unos precios similares de estos equipos, a los principales de la planta según su función.

Tabla 61 Coste base de los equipos secundarios. Fuente Propia.

Equipos secundarios	Cantidad	Coste total equipos secundarios (\$)	Coste total equipos secundarios (€)
Mezcladora	1	\$ 30.467,83	28.639,76 €
Turbinas	2	\$ 2.400.396,67	2.256.372,87 €
Condensador	1	\$ 1.821.203,70	1.711.931,48 €
Reactor	1	\$ 30.467,83	28.639,76 €
Filtro	1	\$ 666.742,34	626.737,80 €
Tanque de agua	1	\$ 334.094,33	314.048,67 €
Bombas	3	\$ 71.183,26	66.912,27 €
Intercambiadores de calor	4	\$ 633.959,15	595.921,60 €

Siendo el valor total de los costes totales de los equipos secundarios 5.629.204,22 €.

Por lo tanto, una buena aproximación del coste del conjunto de equipos de la planta de HNO₃ es la suma del coste de los equipos principales más los costes de los equipos secundarios, ascendiendo el valor del conjunto de equipos a 14.542.711,38 €.

4.3. Coste inicial de inversión de la planta

Este coste de inversión inicial para la implantación de las instalaciones se calcula a través del método de Chilton, en el que a partir del coste total de los equipos calculado anteriormente pondera el resto de costes gracias a los factores medios de Chilton. Cabe añadir que este método también tiene en cuenta como es la planta.

A continuación, se muestra en la Tabla 62 las consideraciones para calcular el coste de la inversión por el método Chilton.

Tabla 62 Consideraciones del método Chilton. (Portillo).

ítem		Factor (fi)	Concepto	ítem		Factor (fi)	Concepto	
C1	Coste equipos principales	1	$C_1 = \sum C_{T,a}$	C7	Líneas exteriores			
C2	Coste equipos instalados	1,4 - 2,20	$C_2 = f_2 * C_1$		Unidad integrada		0 - 0,05	$C_7 = f_7 * C_2$
C3	Coste de tubería		$C_3 = f_3 * C_2$		Unidad separada		0,05 - 0,15	
	En plantas con sólidos	0,07 - 0,10			Unidad dispersa		0,15 - 0,25	
	En plantas mixtas	0,10 - 0,30						
	En plantas con fluidos	0,30 - 0,60		C8	Coste Directo Total		Suma de conceptos de (2 a 7)	
C4	Costes de instrumentación		$C_4 = f_4 * C_2$	C9	Ingeniería y construcción			
	Poca automatización	0,02 - 0,05			Complejidad simple		0,20 - 0,35	$C_9 = f_9 * C_8$
	Algo de automatización	0,05 - 0,10			Complejidad complicada		0,35 - 0,50	
		Completa automatización		0,10 - 0,15	C10	Contingencia y beneficio del contratista		
C5	Edificio y preparación del terreno		Proceso Completado			0,10 - 0,20	$C_{10} = f_{10} * C_8$	
	Planta existente	0	Proceso sujeto a cambios			0,20 - 0,30		
	Planta externa	0,05 - 0,20	Proceso especulativo			0,30 - 0,50		
	Mixta	0,20 - 0,60	C11	Factor del tamaño				
Interna	0,60 - 1	Grande		0 - 0,05	$C_{11} = f_{11} * C_8$			
C6	Auxiliares (potencia, vapor, agua)			Pequeña		0,05 - 0,15		
	Ninguna extensión	0		Planta piloto		0,15 - 0,35		
	Pequeña ampliación	0 - 0,05	C12	Coste Indirecto Total		Suma de conceptos de (9 a 11)		
	Ampliación grande	0,05 - 0,25		CTF		Suma de conceptos ($C_8 + C_{12}$)		
Nueva extensión	0,25 - 1							

Por último, se muestran los resultados obtenidos para el coste inicial de la planta teniendo en cuenta el tipo de implementación de la planta de ácido nítrico y tomando como factores f_i el valor medio.

Además, se hace una clara diferencia del coste de inversión inicial contando con los equipos principales, secundarios y la planta completa.

Tabla 63 Coste total de la implantación. Fuente Propia.

Concepto		Factor	Coste implantación equipos principales	Coste implantación equipos secundarios	Coste implantación equipos totales
C1	Coste equipos principales	1	8.913.507,16 €	5.629.204,22 €	14.542.711,38 €
C2	Coste equipos instalados	1,8	16.044.312,89 €	10.132.567,59 €	26.176.880,48 €
C3	Coste de tuberías (en plantas con fluidos)	0,45	7.219.940,80 €	4.559.655,42 €	11.779.596,22 €
C4	Coste de instrumentación (algo de instrumentación)	0,075	1.203.323,47 €	759.942,57 €	1.963.266,04 €
C5	Edificio y preparación del terreno (planta mixta)	0,4	6.417.725,15 €	4.053.027,04 €	10.470.752,19 €
C6	Auxiliares (potencia, vapor, agua) (ampliación grande)	0,15	2.406.646,93 €	1.519.885,14 €	3.926.532,07 €
C7	Líneas exteriores (unidad integrada)	0,025	401.107,82 €	253.314,19 €	654.422,01 €
C8	Coste Directo Total		33.693.057,06 €	21.278.391,95 €	54.971.449,01 €
C9	Ingeniería y construcción (complejidad complicada)	0,425	14.319.549,25 €	9.043.316,58 €	23.362.865,83 €
C10	Contingencia y beneficio del contratista (proceso completado)	0,15	5.053.958,56 €	3.191.758,79 €	8.245.717,35 €
C11	Factor del tamaño (grande)	0,025	842.326,43 €	531.959,80 €	1.374.286,23 €
C12	Coste Indirecto Total		20.215.834,24 €	12.767.035,17 €	32.982.869,40 €
CTF	Suma Conceptos		53.908.891,30 €	34.045.427,11 €	87.954.318,41 €

El valor de la implantación de la planta de ácido nítrico asciende a un valor de unos 87.954.318,41 €.

5.1. Intercambiadores

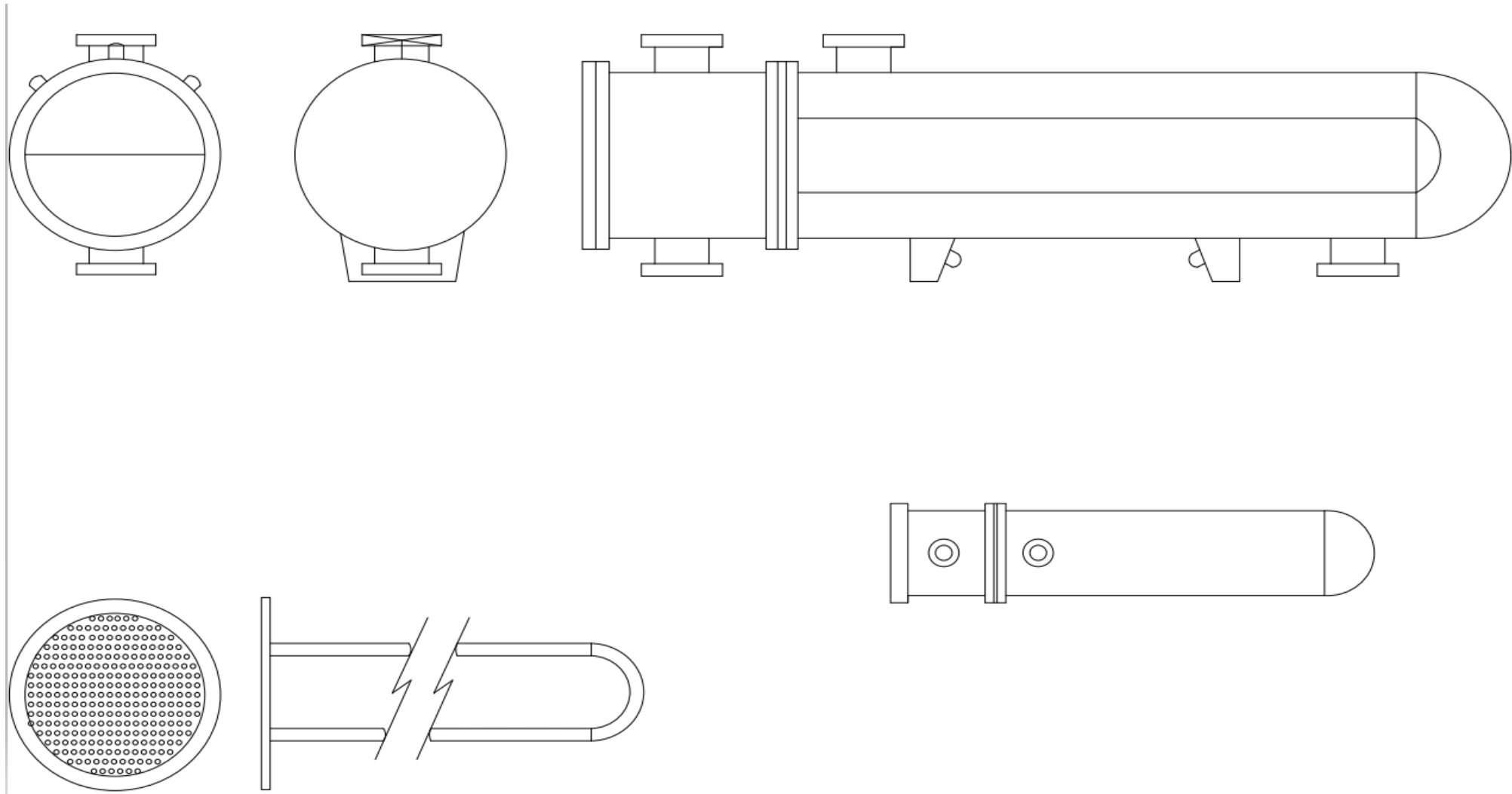
 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	1	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL						
	Tag	E - 01		Fabricante		--	
	Función	Transferir calor		Localización		Sevilla	
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Intercambiador de calor	
2	DATOS DE DISEÑO						
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	NH ₃ + H ₂ O			
	Composición corriente caliente (58-59)		%	H ₂ O: 100			
	Composición corriente fría (2-3)		%	NH ₃ : 100			
	Código de diseño		-	(1)			

3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN		
	Caudal corriente caliente (58-59)	kg/día	36014
	Caudal corriente fría (2-3)	kg/día	15762
	Tiempo de operación	h	8000
	Potencia	kW	100,1
	DTLM	K	72,06
	Factor de corrección (F)	-	0,97
	R	-	0,2604
	P	-	0,893
	Factor de ensuciamiento interno	m ² *K/W	0
	Factor de ensuciamiento externo	m ² *K/W	0,00205
	Velocidad	m/s	22
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)

	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	152,7
	Longitud	m	1,7
	Número de tubos	-	450
	Número de carcasas	-	2
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	200
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	150
	Presión de operación fluido caliente	bar	10
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	-15

	Temperatura de salida fluido frío	°C	177,0
	Presión de operación fluido frío	bar	12,4
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida

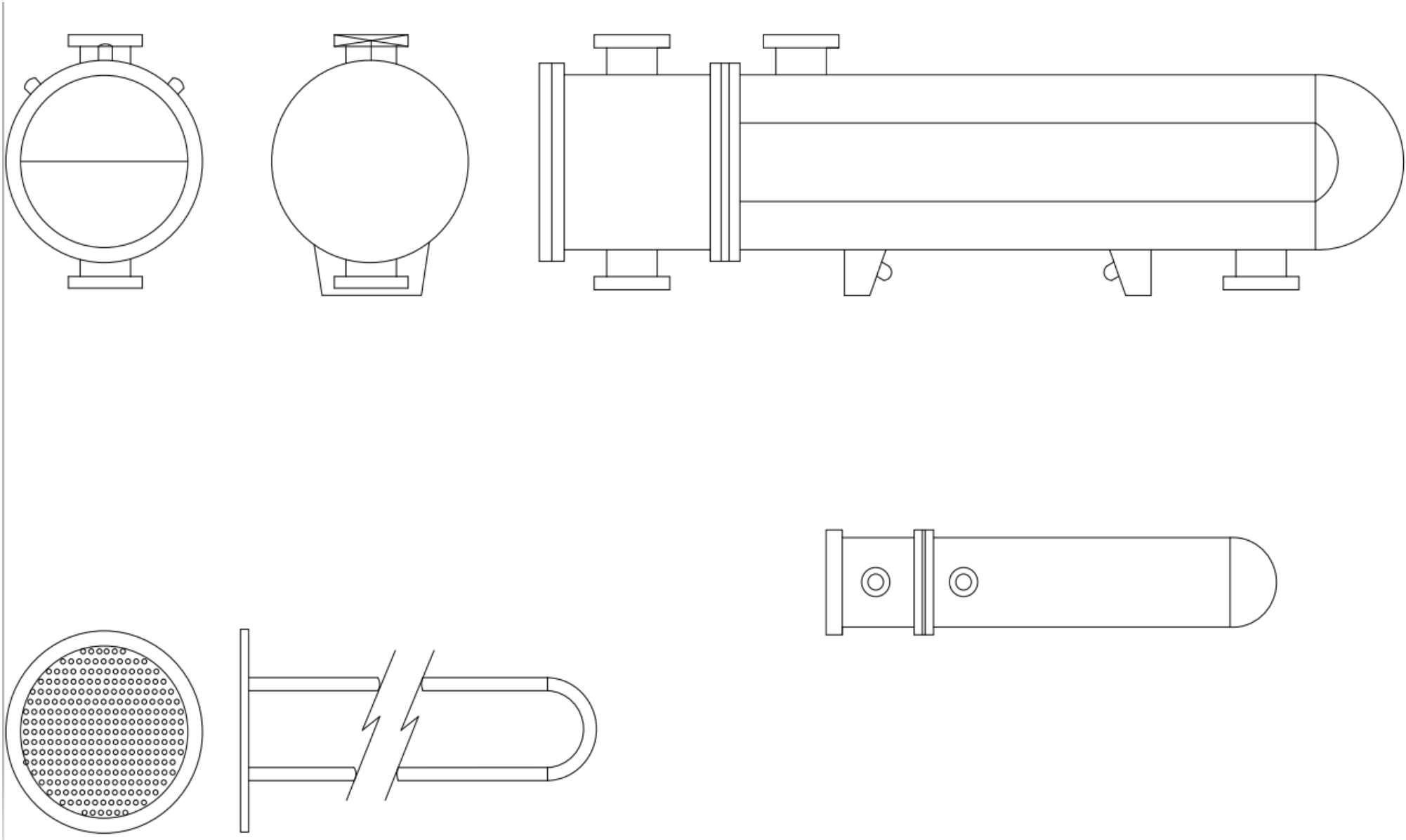
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA  Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1			
		Proyecto	Planta de HNO ₃			
		Localización	Sevilla			
		Hoja	2	/	2	
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA					
						

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Intercambiador de calor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	E - 02			Fabricante		--		
	Función	Transferir calor			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Intercambiador de calor		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O (Aire + H ₂ O)					
	Composición corriente caliente (29-30)		%	Aire: 100					
	Composición corriente fría (agua de refrigeración)		%	Agua de refrigeración: 100					
	Código de diseño		-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Caudal corriente caliente (29-30)		kg/día	307500					
	Caudal corriente fría (agua de refrigeración)		kg/día	18889					
	Tiempo de operación		h	8000					
	Potencia		kW	615,5					
	DTLM		K	49,8					
	Factor de corrección (F)		-	1					
	R		-	2,071					
	P		-	0,4278					
	Factor de ensuciamiento interno		m ² *K/W	0					
	Factor de ensuciamiento externo		m ² *K/W	0,00205					
	Velocidad		m/s	22					
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control		-	(1)					
	Motores		-	(1)					
	Lubricación por spray		-	(1)					

	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	465
	Longitud	m	2,33
	Número de tubos	-	1000
	Número de carcasas	-	6
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	200,3
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	45
	Presión de operación fluido caliente	bar	3,521
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	25
	Temperatura de salida fluido frío	°C	100
	Presión de operación fluido frío	bar	1
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida

	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2		/	2	
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Intercambiador de calor		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
10							

 		Nº Documento		1				
		Proyecto		Planta de HNO ₃				
		Localización		Sevilla				
		Hoja		1	/	2		
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL							
	Tag	E - 03			Fabricante		--	
	Función	Transferir calor			Localización		Sevilla	
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Intercambiador de calor	
2	DATOS DE DISEÑO							
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O + NO (NO + H ₂ O)				
	Composición corriente caliente (6-7)	%	O ₂ : 7,88					
		%	N ₂ : 70,77					
		%	Inertes: 1,13					
		%	H ₂ O: 10,41					
		%	NO: 9,81					
	Composición corriente fría (61-62)		%	H ₂ O: 100				
Código de diseño		-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN							
	Caudal corriente caliente (6-7)		kg/día	269450				
	Caudal corriente fría (61-62)		kg/día	36014				
	Tiempo de operación		h	8000				
	Potencia		kW	190,6				
	DTLM		K	312,3				
	Factor de corrección (F)		-	0,97				
	R		-	0,429				
	P		-	0,2892				
	Factor de ensuciamiento interno		m ² *K/W	0				
	Factor de ensuciamiento externo		m ² *K/W	0,00205				
	Velocidad		m/s	22				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS							

	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	125,6
	Longitud	m	1,399
	Número de tubos	-	450
	Número de carcasas	-	1
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	645
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	596
	Presión de operación fluido caliente	bar	7,5
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	250
	Temperatura de salida fluido frío	°C	364,2
	Presión de operación fluido frío	bar	40
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA

	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

Nº Documento	1			
Proyecto	Planta de HNO ₃			
Localización	Sevilla			
Hoja	2	/	2	

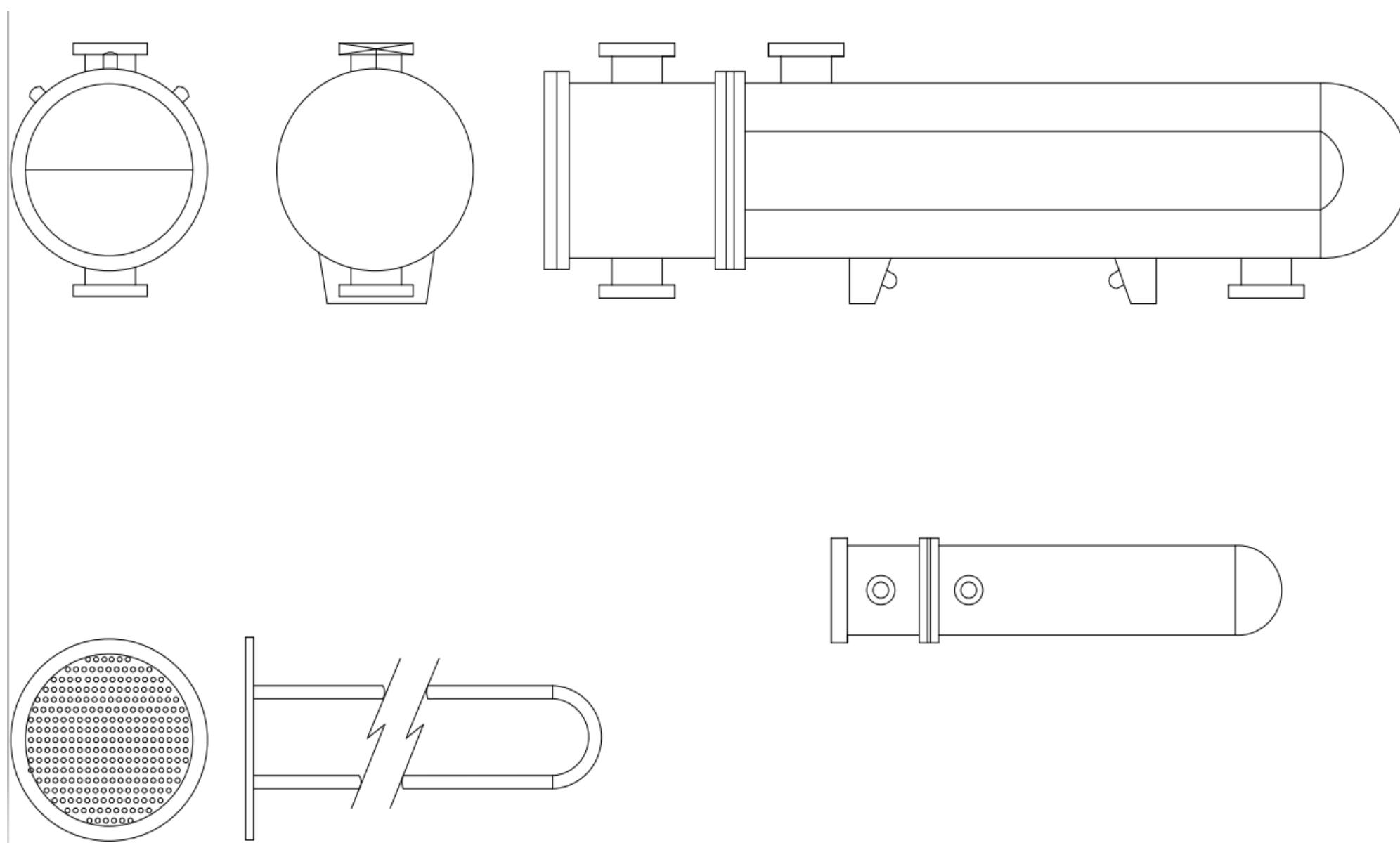
HOJAS DE DATOS

Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM

Intercambiador de calor

ESQUEMA

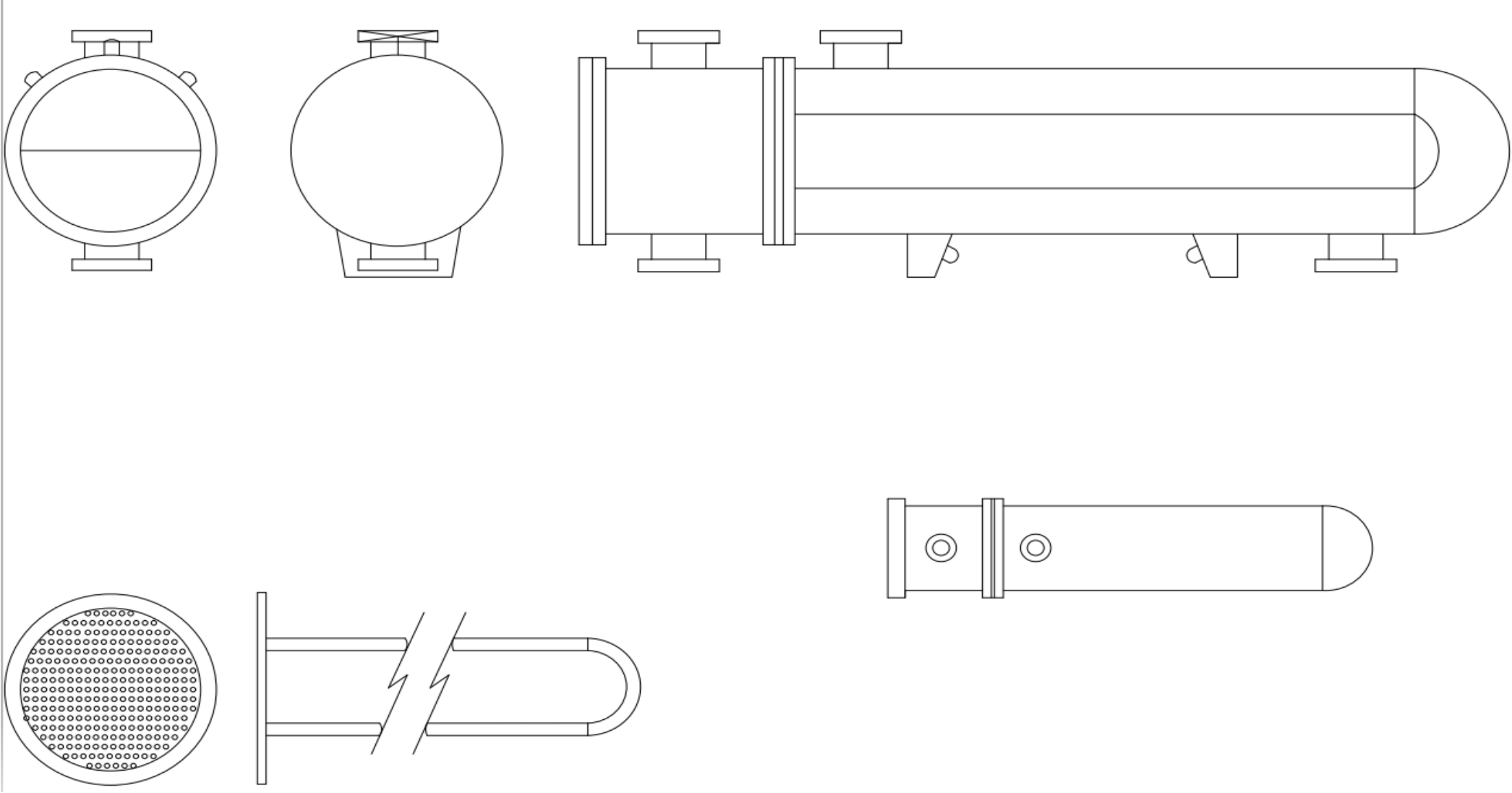
10



 		Nº Documento	1			
		Proyecto	Planta de HNO ₃			
		Localización	Sevilla			
		Hoja	1	/	2	
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL					
	Tag	E - 04		Fabricante		--
	Función	Transferir calor		Localización		Sevilla
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Intercambiador de calor
2	DATOS DE DISEÑO					
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O + NO + NO ₂ (NO + NO ₂ + H ₂ O)		
	Composición corriente caliente (7-8)	%	O ₂ : 7,73			
		%	N ₂ : 70,77			
		%	Inertes: 1,13			
		%	H ₂ O: 10,41			
		%	NO: 9,51			
		%	NO ₂ : 0,45			
	Composición corriente fría (63-64)		%	H ₂ O: 100		
Código de diseño		-	(1)			
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN					
	Caudal corriente caliente (7-8)		kg/día	269450		
	Caudal corriente fría (63-64)		kg/día	249220		
	Tiempo de operación		h	8000		
	Potencia		kW	1319		
	DTLM		K	118,5		
	Factor de corrección (F)		-	1		
	R		-	2,592		
	P		-	0,33		
	Factor de ensuciamiento interno		m ² *K/W	0		
	Factor de ensuciamiento externo		m ² *K/W	0,00205		
	Velocidad		m/s	22		

4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	395,9
	Longitud	m	1,984
	Número de tubos	-	1000
	Número de carcacas	-	6
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	596
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	300
	Presión de operación fluido caliente	bar	7,5
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	250
	Temperatura de salida fluido frío	°C	364,2
	Presión de operación fluido frío	bar	40
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)

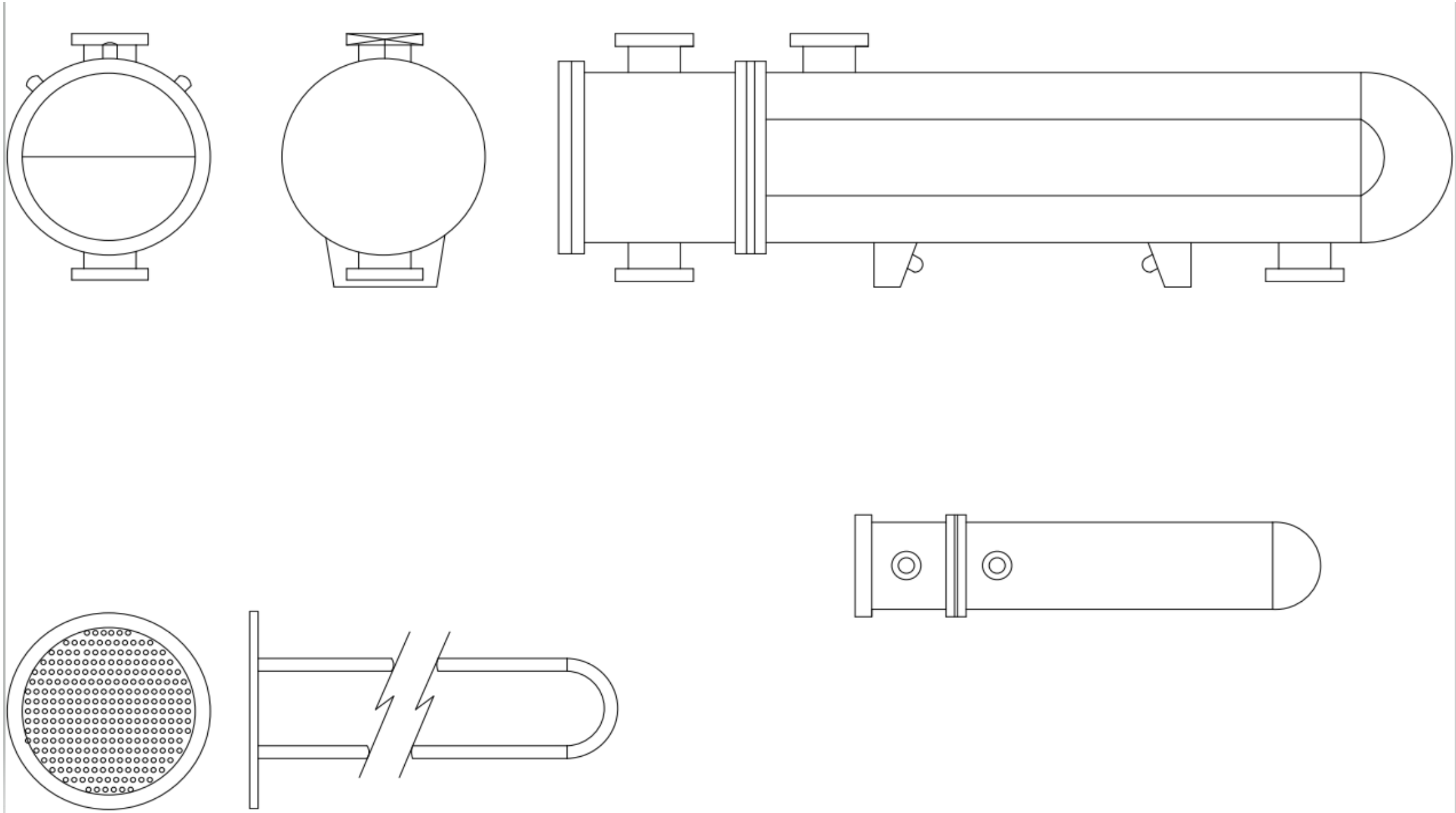
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
							

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL						
	Tag	E - 05	Fabricante			--	
	Función	Transferir calor	Localización			Sevilla	
	Cantidad	1	Tipo de equipo			Intercambiador de calor	
2	DATOS DE DISEÑO						
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O + NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ (NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ + H ₂ O)			
	Composición corriente caliente (8-9)	%	O ₂ : 7,22				
		%	N ₂ : 70,77				
		%	Inertes: 1,13				
		%	H ₂ O: 10,41				
		%	NO: 8,56				
	Composición corriente (19-20)	%	NO ₂ : 1,15				
		%	N ₂ O ₄ : 0,76				
		%	O ₂ : 5,24				
		%	N ₂ : 92,13				
		%	Inertes: 1,47				
		%	H ₂ O: 0,84				
		%	NO: 0,10				
		%	NO ₂ : 0,03				
		%	N ₂ O ₄ : 0,19				
Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN						
	Caudal corriente caliente (8-9)	kg/día	269450				
	Caudal corriente fría (19-20)	kg/día	250737				
	Tiempo de operación	h	8000				
	Potencia	kW	554,3				

	DTLM	K	130,4
	Factor de corrección (F)	-	1
	R	-	0,5247
	P	-	0,6099
	Factor de ensuciamiento interno	m ² *K/W	0
	Factor de ensuciamiento externo	m ² *K/W	0,00205
	Velocidad	m/s	22
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m2	142,8
	Longitud	m	1,591
	Número de tubos	-	450
	Número de carcasas	-	6
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	300
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	220
	Presión de operación fluido caliente	bar	7,5
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	50
	Temperatura de salida fluido frío	°C	202,5
	Presión de operación fluido frío	bar	10
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica

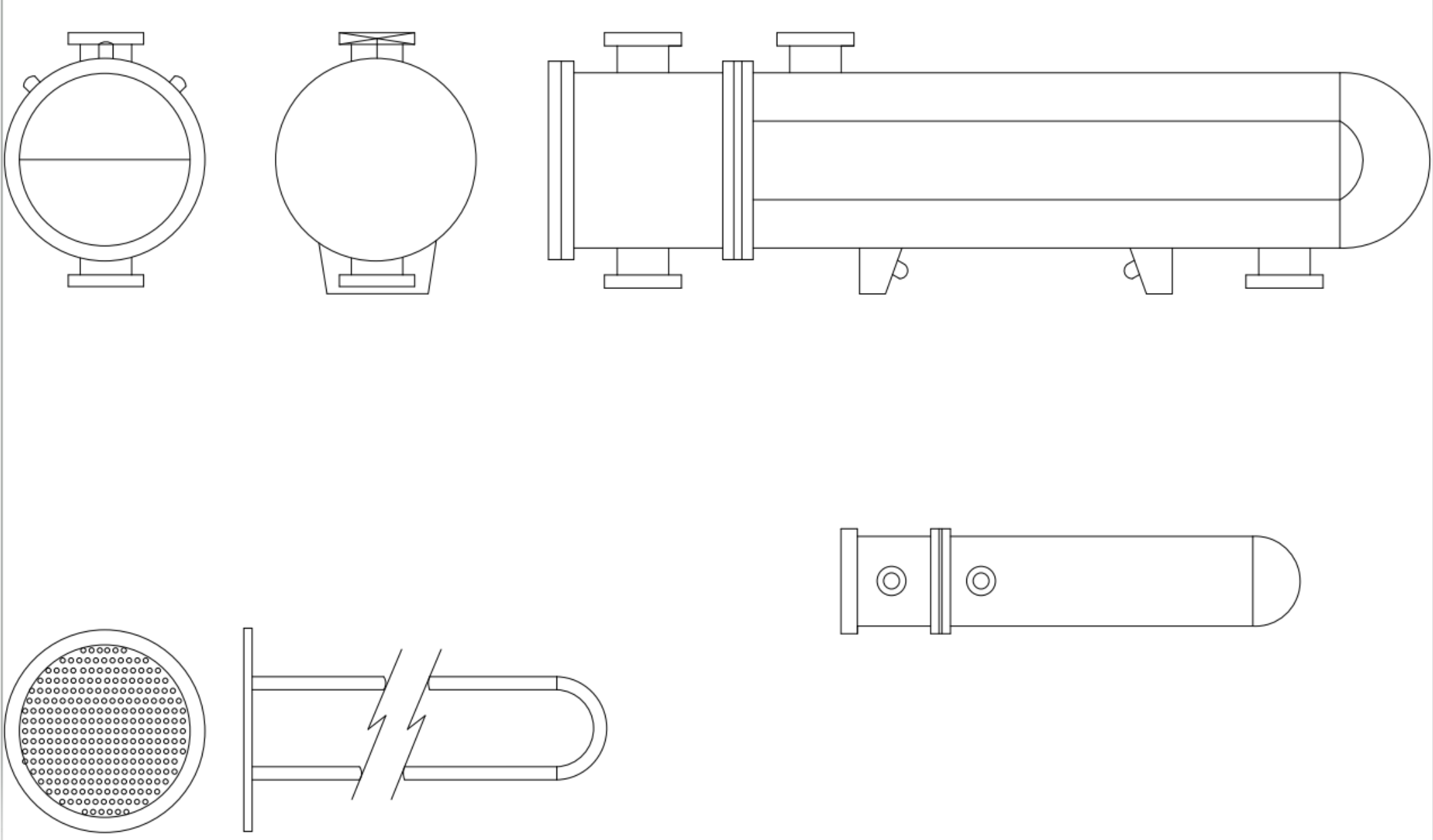
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2		/	2	
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
							

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	1	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL						
	Tag	E - 07	Fabricante			--	
	Función	Transferir calor	Localización			Sevilla	
	Cantidad	1	Tipo de equipo			Intercambiador de calor	
2	DATOS DE DISEÑO						
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O + NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ (NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ + H ₂ O)			
	Composición corriente caliente (9-10)	%	O ₂ : 5,92				
		%	N ₂ : 71,59				
		%	Inertes: 1,14				
		%	H ₂ O: 10,53				
		%	NO: 6,06				
		%	NO ₂ : 2,39				
		%	N ₂ O ₄ : 2,37				
	Composición corriente fría (agua de refrigeración)		%	H ₂ O: 100			
Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN						
	Caudal corriente caliente (9-10)		kg/día	266362			
	Caudal corriente fría (agua de refrigeración)		kg/día	68571			
	Tiempo de operación		h	8000			
	Potencia		kW	2234			
	DTLM		K	95,74			
	Factor de corrección (F)		-	1			
	R		-	1,6			
	P		-	0,121			
	Factor de ensuciamiento interno		m ² *K/W	0			
Factor de ensuciamiento externo		m ² *K/W	0,00205				

	Velocidad	m/s	22
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	141,8
	Longitud	m	1,580
	Número de tubos	-	1500
	Número de carcasas	-	6
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	220
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	100
	Presión de operación fluido caliente	bar	7,5
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	25
	Temperatura de salida fluido frío	°C	100
	Presión de operación fluido frío	bar	1
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		

	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

  Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2		/	2	
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
							

 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL						
	Tag	E - 08		Fabricante		--	
	Función	Transferir calor		Localización		Sevilla	
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Intercambiador de calor	
2	DATOS DE DISEÑO						
	Materiales implicados en la transferencia de calor		-	O ₂ + N ₂ + Inertes + H ₂ O + NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ (NO + NO ₂ + N ₂ O ₄ + H ₂ O)			
	Composición corriente caliente (16-17)		%	O ₂ : 5,69			
			%	N ₂ : 92,57			
			%	Inertes: 1,48			
			%	H ₂ O: 0			
			%	NO: 0,09			
			%	NO ₂ : 0,10			
			%	N ₂ O ₄ : 0,08			
	Composición corriente fría (48-49)		%	H ₂ O: 100			
Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN						
	Caudal corriente caliente (16-17)		kg/día	228946			
	Caudal corriente fría (48-49)		kg/día	17676			
	Tiempo de operación		h	8000			
	Potencia		kW	46,88			
	DTLM		K	23,27			
	Factor de corrección (F)		-	1			
	R		-	0,3			

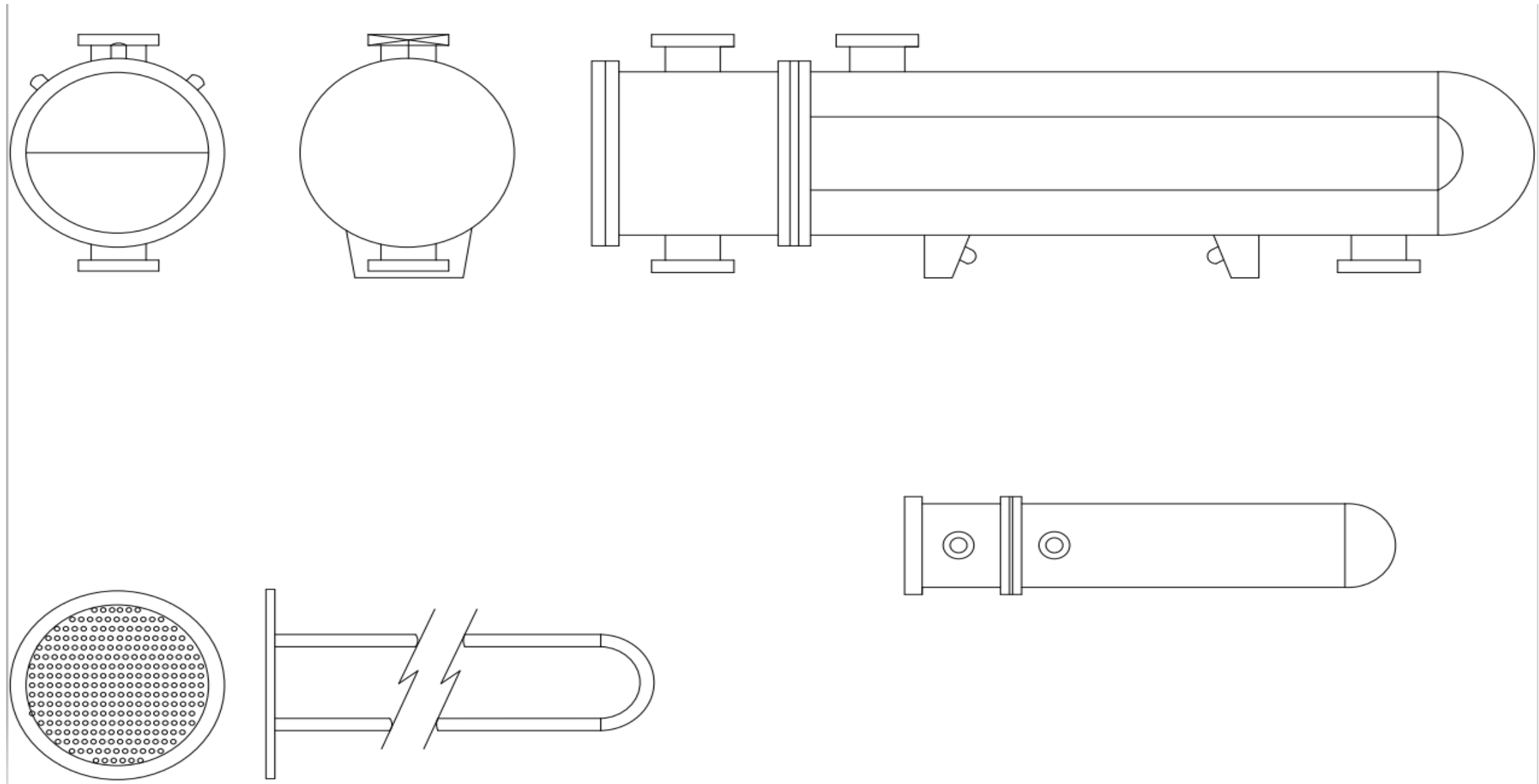
	P	-	0,833
	Factor de ensuciamiento interno	m ² *K/W	0
	Factor de ensuciamiento externo	m ² *K/W	0,00205
	Velocidad	m/s	22
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa características	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Otros	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área de la carcasa	m ²	141,8
	Longitud	m	1,580
	Número de tubos	-	450
	Número de carcasas	-	3
	Número de pasos	-	4
	D externo	m	0,0635
	D interno	m	0,056
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada fluido caliente	°C	80
	Temperatura de salida fluido caliente	°C	65
	Presión de operación fluido caliente	bar	10,0
	Temperatura de entrada fluido frío	°C	20
	Temperatura de salida fluido frío	°C	70
	Presión de operación fluido frío	bar	1
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A

	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

Nº Documento	1			
Proyecto	Planta de HNO ₃			
Localización	Sevilla			
Hoja	2	/	2	

HOJAS DE DATOS	Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Intercambiador de calor	00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM

ESQUEMA



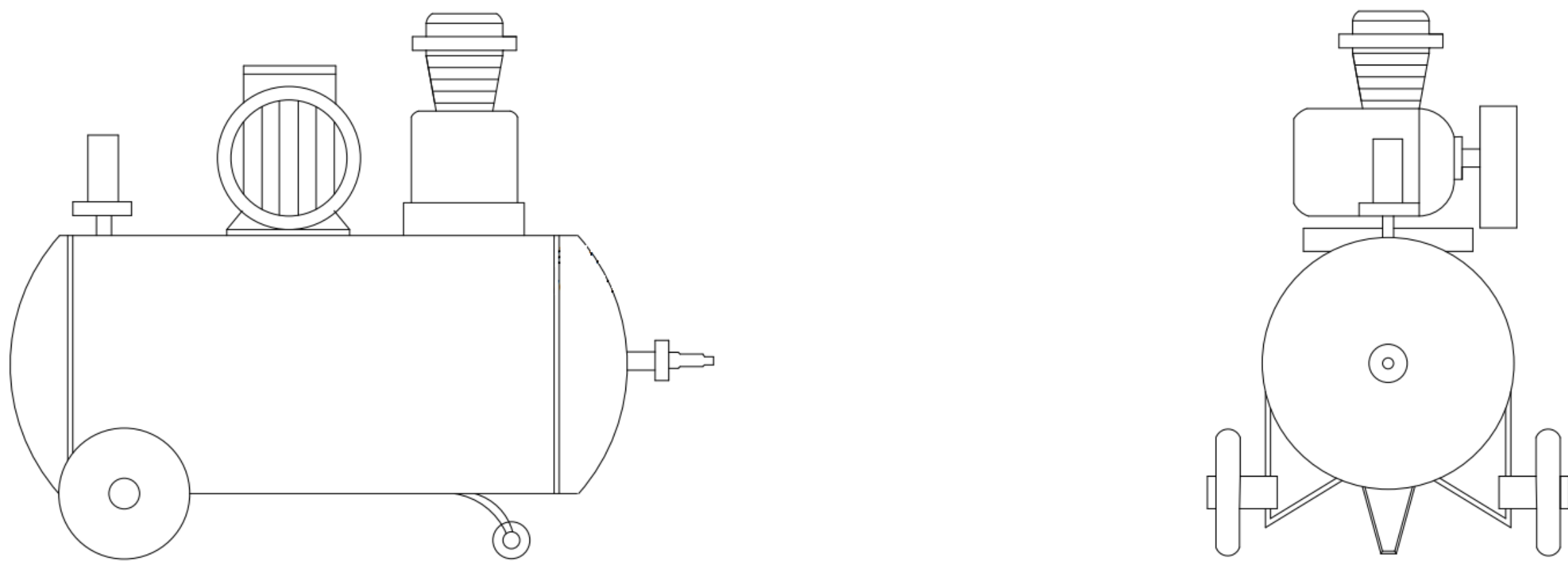
5.2. Compresores

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO3				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Compresor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	C - 01			Fabricante		--		
	Función	Incrementar la presión de la corriente			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Compresor		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Material implicado en la compresión			-	Aire				
	Composición			%	Aire: 100				
	Densidad entrada			kg/m³	1,131				
	Densidad salida			kg/m³	2,588				
	Código de diseño			-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								

	Capacidad de la corriente	kg/día	307500
	Tiempo de Operación	h	8000
	Potencia	kW	652,8
	Eficiencia	%	80
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Placa de características	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	35
	Temperatura de salida	°C	200,3
	Presión de entrada	bar	1

	Presión de salida	bar	3,521
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24

	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 		Nº Documento		1				
		Proyecto		Planta de HNO ₃				
		Localización		Sevilla				
		Hoja		2	/	2		
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Compresor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA							
								

 		Nº Documento		1				
		Proyecto		Planta de HNO ₃				
		Localización		Sevilla				
		Hoja		1 / 2				
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Compresor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL							
	Tag	C - 02			Fabricante		--	
	Función	Incrementar la presión de la corriente			Localización		Sevilla	
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Compresor	
2	DATOS DE DISEÑO							
	Material implicado en la compresión		-	Aire				
	Composición		%	Aire: 100				
	Densidad entrada		kg/m3	3,857				
	Densidad salida		kg/m3	8,801				
	Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN							
	Capacidad de la corriente		kg/día	307500				
	Tiempo de Operación		h	8000				
	Potencia		kW	674,7				
	Eficiencia		%	80				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS							
	Cuadro de Control		-	(1)				
	Motores		-	(1)				
	Lubricación por spray		-	(1)				
	Pernos de anclaje		-	(1)				
	Placa de características		-	(1)				
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO							
	Material de Construcción		-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)				
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN							
	Condiciones de Trabajo		-	Continuo 8 h al día				
	Temperatura de entrada		°C	45				

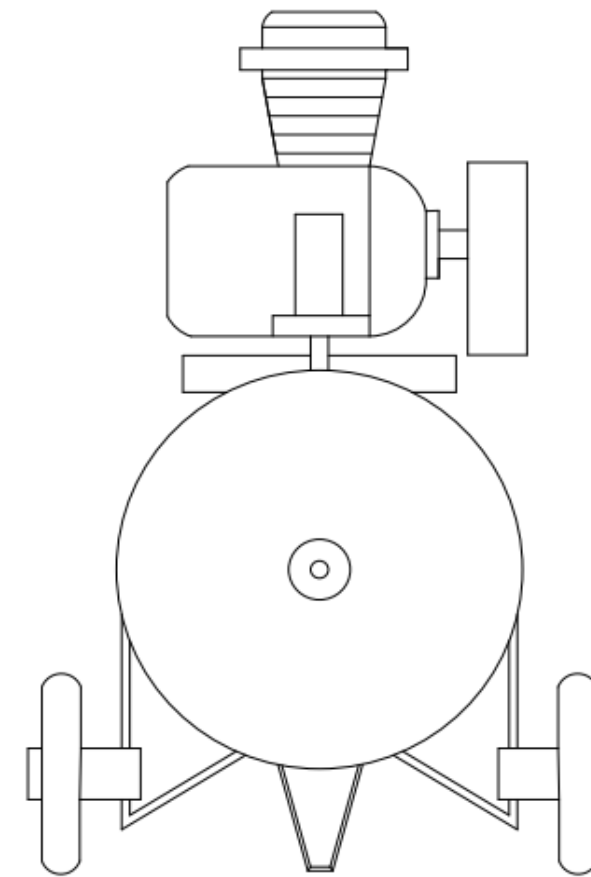
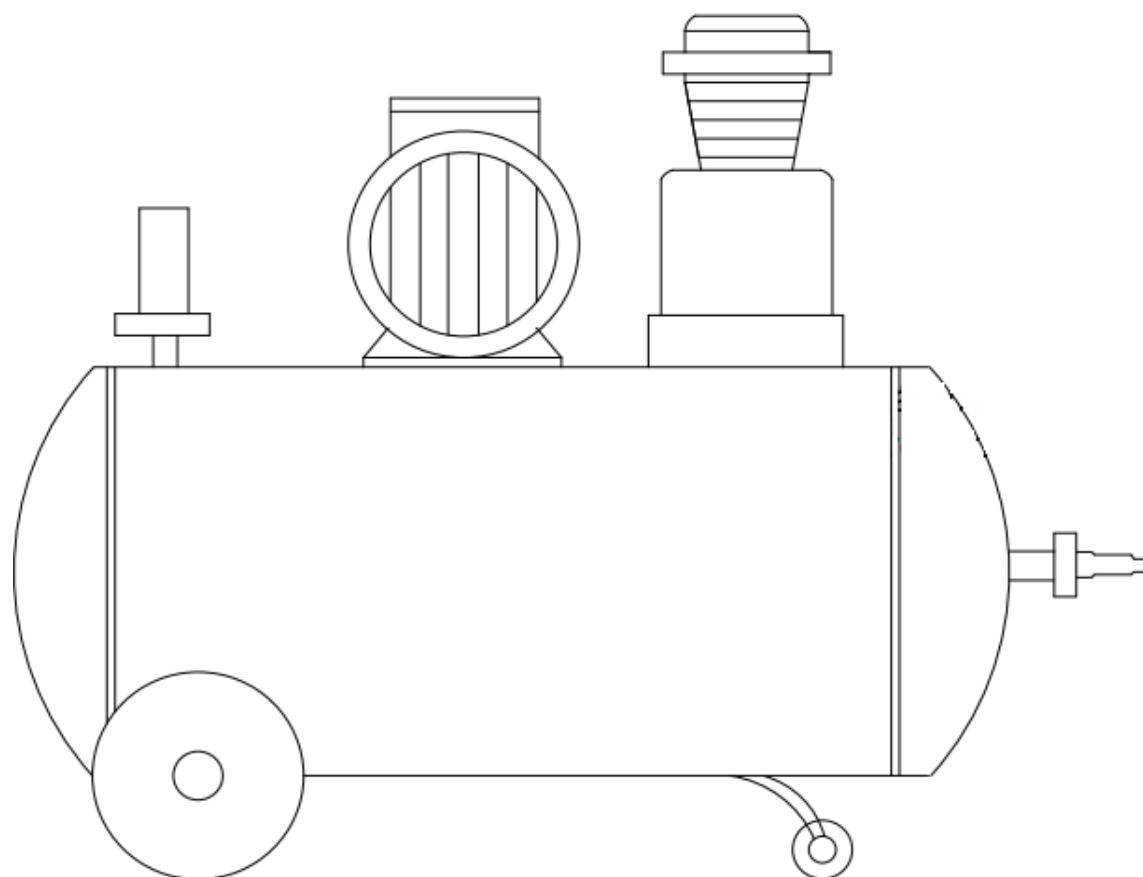
	Temperatura de salida	°C	215,6
	Presión de entrada	bar	3,521
	Presión de salida	bar	12,4
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

Nº Documento	1			
Proyecto	Planta de HNO ₃			
Localización	Sevilla			
Hoja	2	/	2	

HOJAS DE DATOS	Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Compresor	00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM

ESQUEMA

10



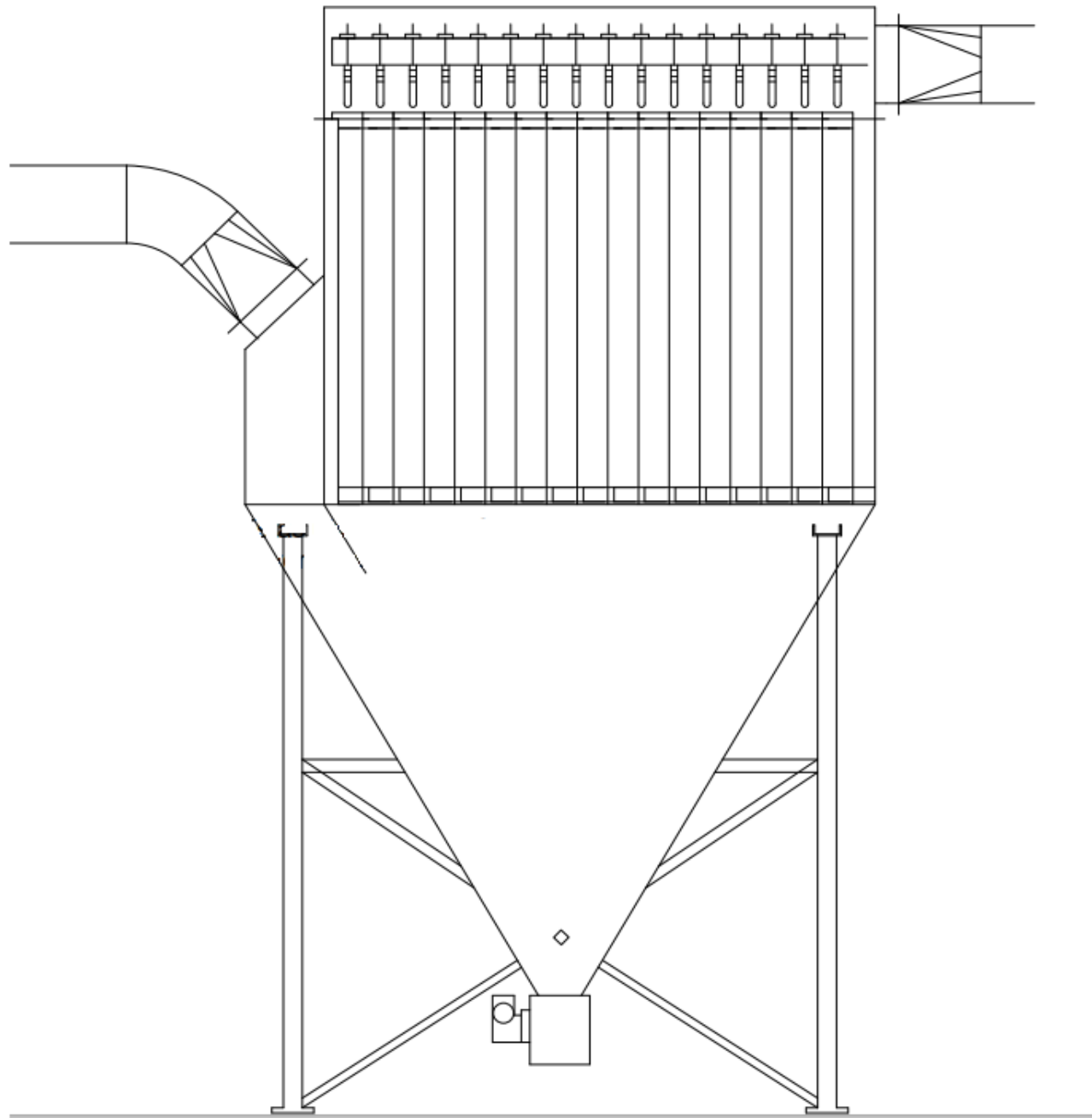
5.3. Filtros

 UNIVERSIDAD D SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Filtro				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	F - 01			Fabricante		--		
	Función	Filtrar			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Filtro de manga		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la filtración			-	Aire + NO				
	Composición			%	Aire: 90,19 ; NO: 9,81				
	Código de diseño			-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente			kg/día	269450				
	Tiempo de Operación			h	8000				
	Calor que transfiere			kW	0 (Adiabático)				

4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Patas (Cantidad /Altura (mm) / Tipo de perfil)	-	(1)
	Pernos de anclaje	-	(1)
	Tolva Entrada	mm x mm x mm	(1)
	Tolva Salida	mm x mm x mm	(1)
5	Placa de características	-	(1)
	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área del filtro	m ²	318,2
	Área de las mangas	m ²	1,257
	Diámetro de las mangas	m	0,4
	Longitud de las mangas	m	1
	Número de mangas	-	252
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		

	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	645
	Temperatura de salida	°C	645
	Presión de entrada	bar	7,5
	Presión de salida	bar	7,5
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida

	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2	/	2		
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Filtro		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
10	ESQUEMA						
							

 		Nº Documento		1				
		Proyecto		Planta de HNO ₃				
		Localización		Sevilla				
		Hoja		1	/	2		
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Filtro				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL							
	Tag	F - 02		Fabricante		--		
	Función	Filtrar		Localización		Sevilla		
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Filtro de manga		
2	DATOS DE DISEÑO							
	Material implicado en la filtración		-	Aire				
	Composición		%	Aire: 100				
	Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN							
	Capacidad de la corriente		kg/día	307500				
	Tiempo de Operación		h	8000				
	Calor que transfiere		kW	0 (Adiabático)				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS							
	Cuadro de Control		-	(1)				
	Motores		-	(1)				
	Lubricación por spray		-	(1)				
	Patas (Cantidad /Altura (mm) / Tipo de perfil)		-	(1)				
	Pernos de anclaje		-	(1)				
	Tolva Entrada		mm x mm x mm	(1)				
	Tolva Salida		mm x mm x mm	(1)				
	Placa de características		-	(1)				
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO							
	Área del filtro		m ²	259,3				
	Área de las mangas		m ²	1,257				

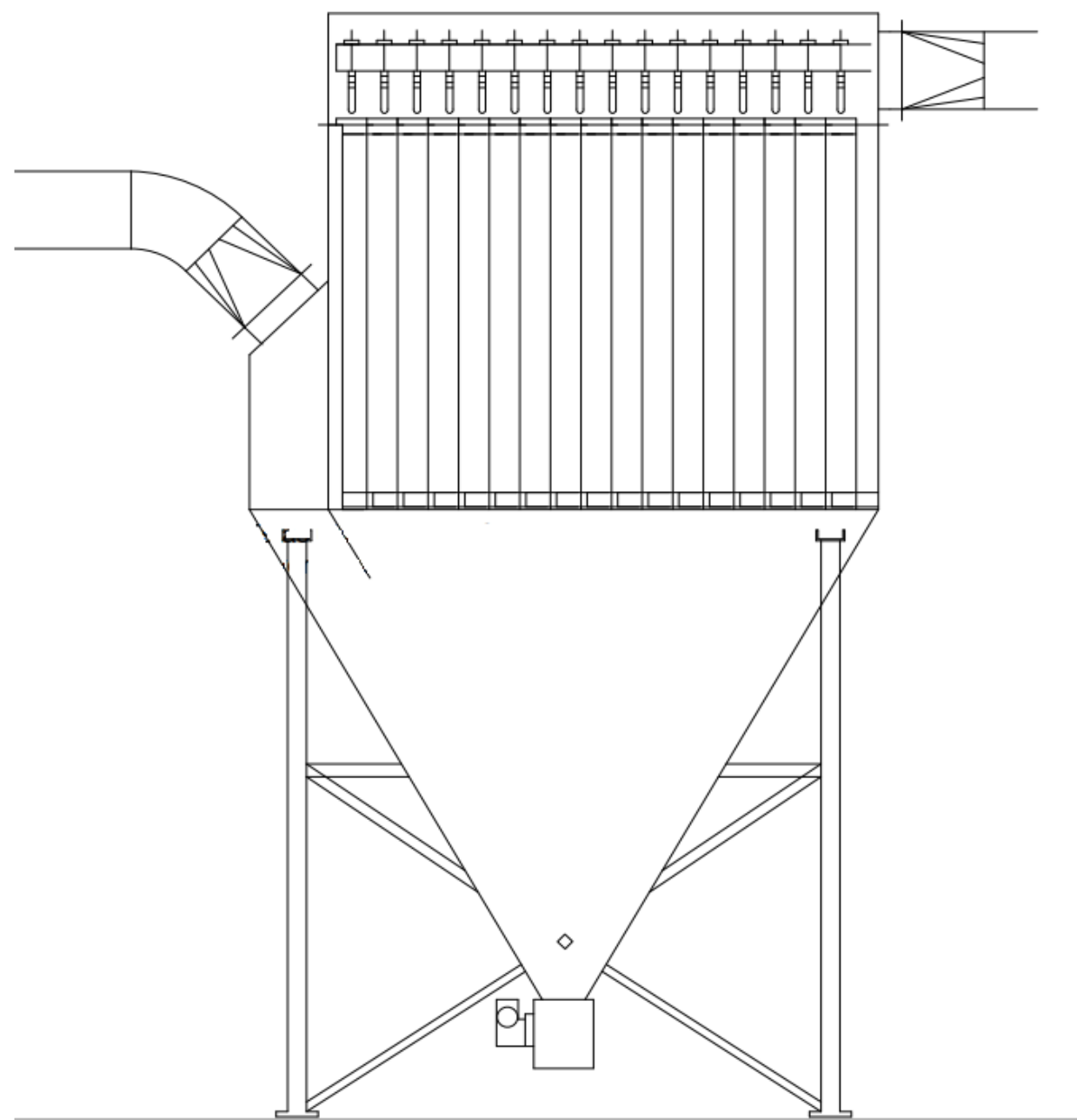
	Diámetro de las mangas	m	0,4
	Longitud de las mangas	m	1
	Número de mangas	-	206
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	35
	Temperatura de salida	°C	35
	Presión de entrada	bar	1
	Presión de salida	bar	2
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	NOTAS		
9	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

Nº Documento	1			
Proyecto	Planta de HNO ₃			
Localización	Sevilla			
Hoja	2	/	2	

HOJAS DE DATOS	Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Filtro	00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM

ESQUEMA

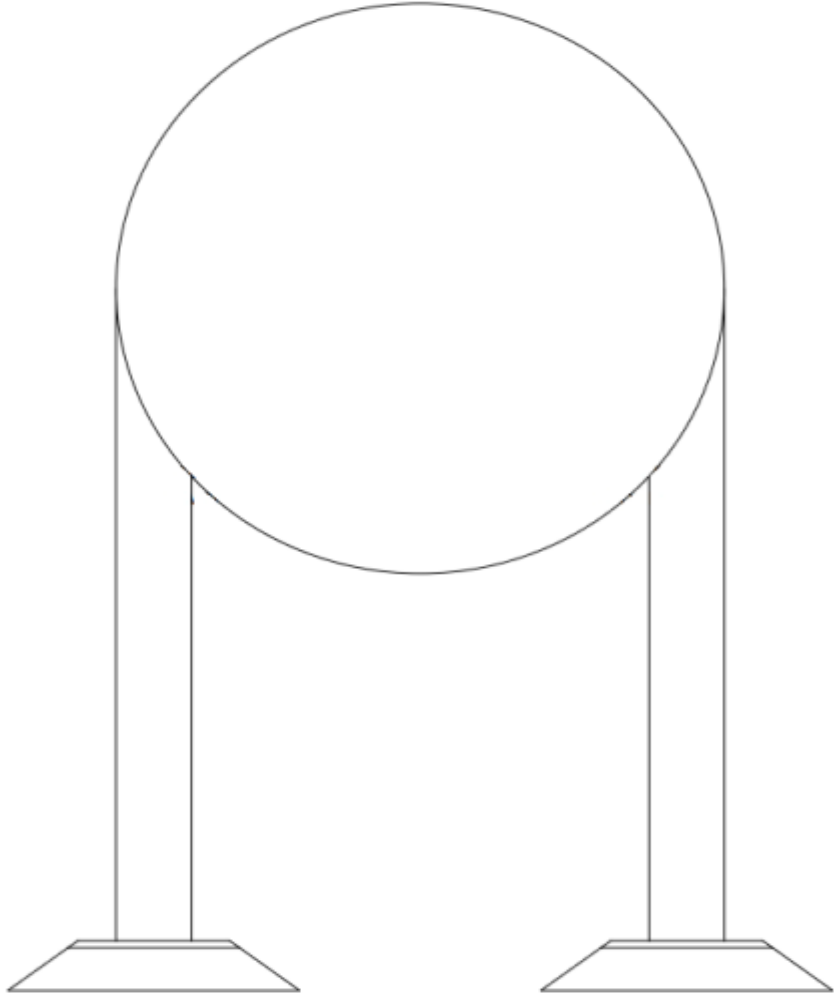
10



5.4. Tanques

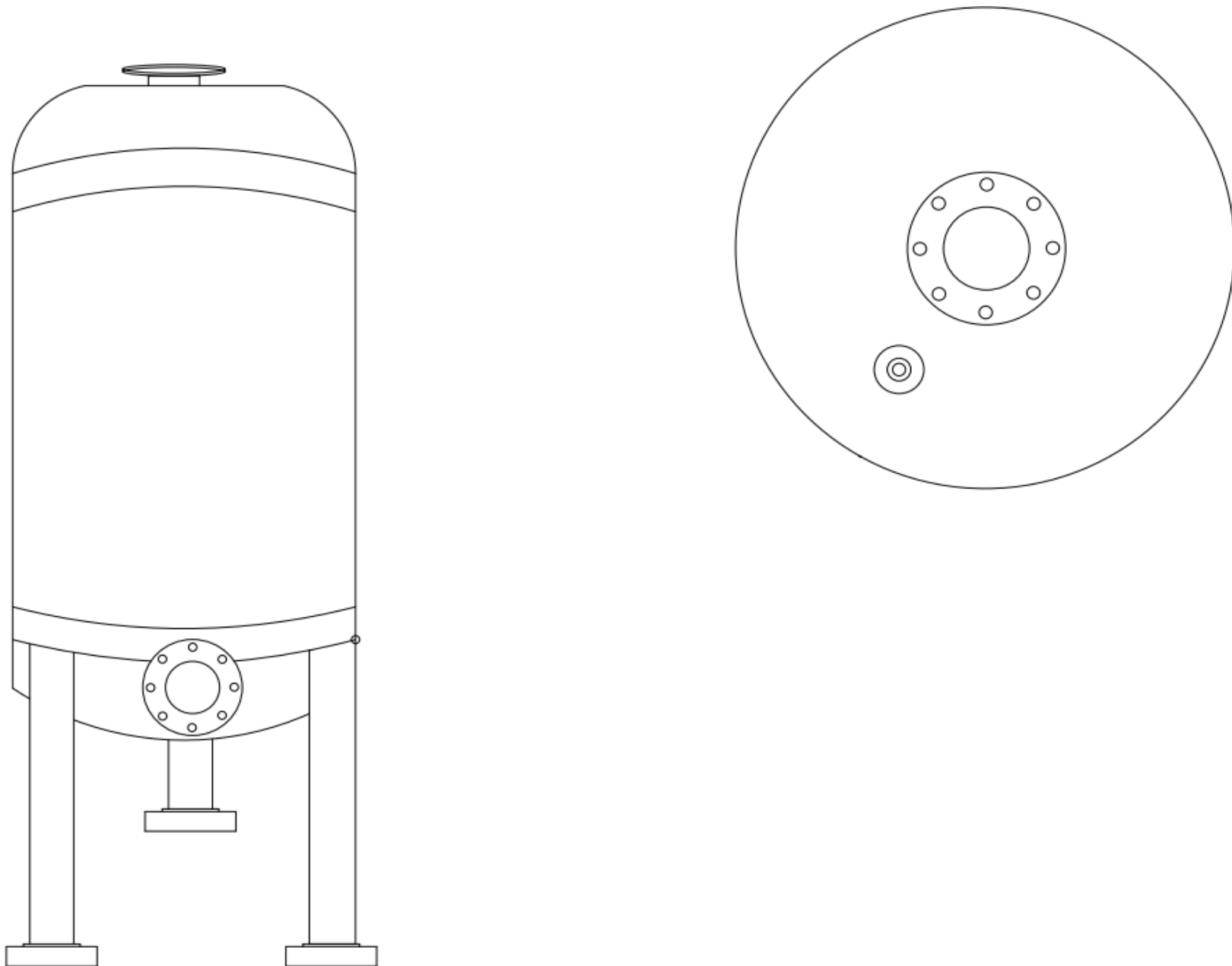
 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Esfera de almacenamiento				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	TK - 01			Fabricante		--		
	Función	Almacenar			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Esfera de almacenamiento		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Material implicado en la filtración		-	Amoniac (NH ₃)					
	Composición		%	Amoniac: 100					
	Código de diseño		-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente		kg/día	15762					
	Tiempo de almacenado		días	243					
	Calor que transfiere		kW	0 (Adiabático)					
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control		-	(1)					
	Patas (Cantidad /Altura (mm) / Tipo de perfil)		-	(1)					
	Pernos de anclaje		-	(1)					
	Tolva Entrada		mm x mm x mm	(1)					
	Tolva Salida		mm x mm x mm	(1)					
	Placa de características		-	(1)					
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO								
	Área de la esfera		m2	490,9					
	Diámetro de la esfera		m	25					

	Altura de la esfera	m	12,99
	Capacidad de almacenamiento	-	0,86
	Volumen total	m ³	6379
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo
	Temperatura de almacenamiento	°C	-33
	Presión de almacenamiento	bar	1
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Esfera de almacenamiento			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
							

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1	/	2		
HOJAS DE DATOS					Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Tanque de almacenamiento					00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL								
	Tag		TK - 02		Fabricante		--		
	Función		Almacenar		Localización		Sevilla		
	Cantidad		3		Tipo de equipo		Tanque de almacenamiento		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Material implicado en la filtración			-	Ácido nítrico con una concentración del 60% (HNO3 débil)				
	Composición			%	Ácido nítrico: 60				
				%	Agua: 40				
	Código de diseño			-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente			kg/día	83333				
	Tiempo de almacenado			días	2				
	Calor que transfiere			kW	0 (Adiabático)				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control			-	(1)				
	Patas (Cantidad /Altura (mm) / Tipo de perfil)			-	(1)				
	Pernos de anclaje			-	(1)				
	Tolva Entrada			mm x mm x mm	(1)				
	Tolva Salida			mm x mm x mm	(1)				
	Placa de características			-	(1)				
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO								
	Área de un tanque de almacenamiento			m ²	407,8				
	Diámetro de un tanque de almacenamiento			m	22,79				
	Altura de un tanque de almacenamiento			m	10				

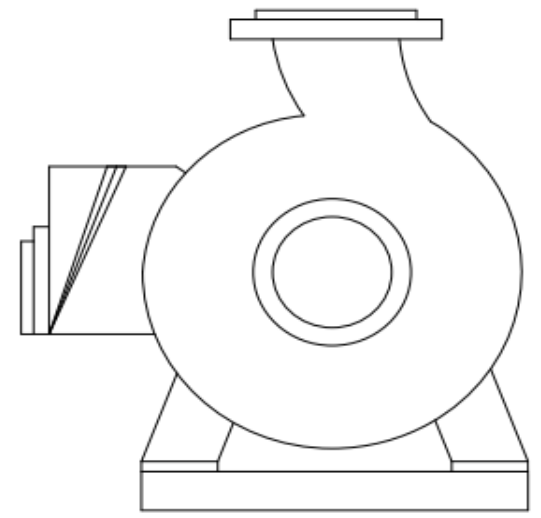
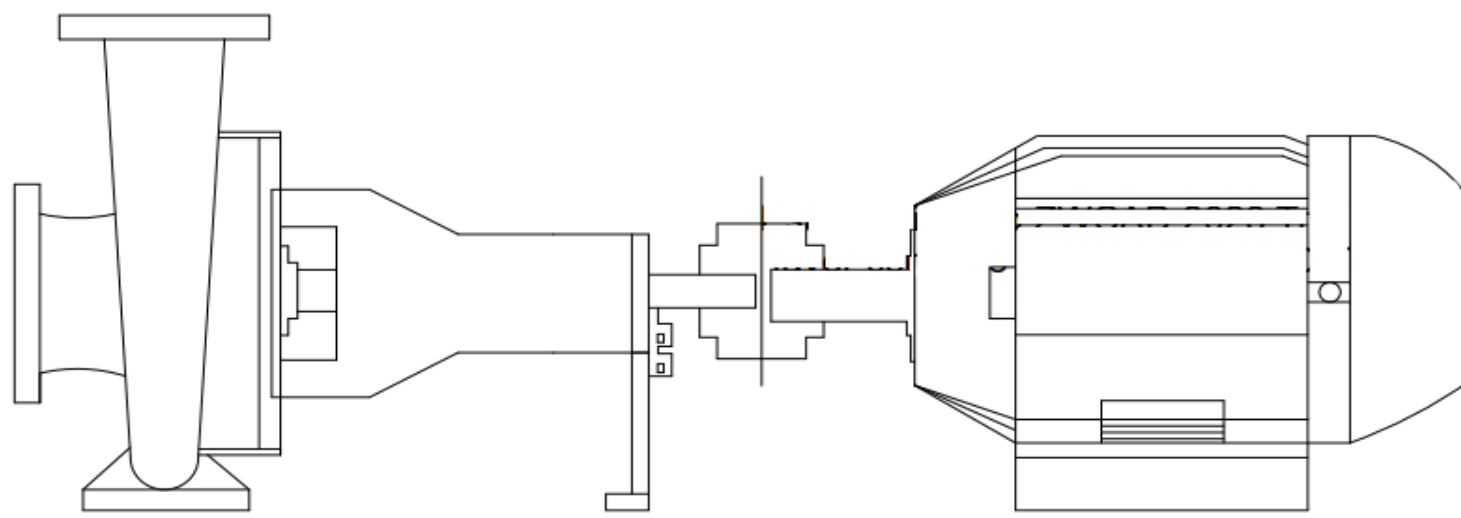
	Capacidad de almacenamiento	-	0,86
	Volumen total de un tanque de almacenamiento	m ³	4078
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo
	Temperatura de almacenamiento	°C	55
	Presión de almacenamiento	bar	12
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2		/	2	
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Tanque de almacenamiento		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
10	ESQUEMA						
							

5.5. Bombas

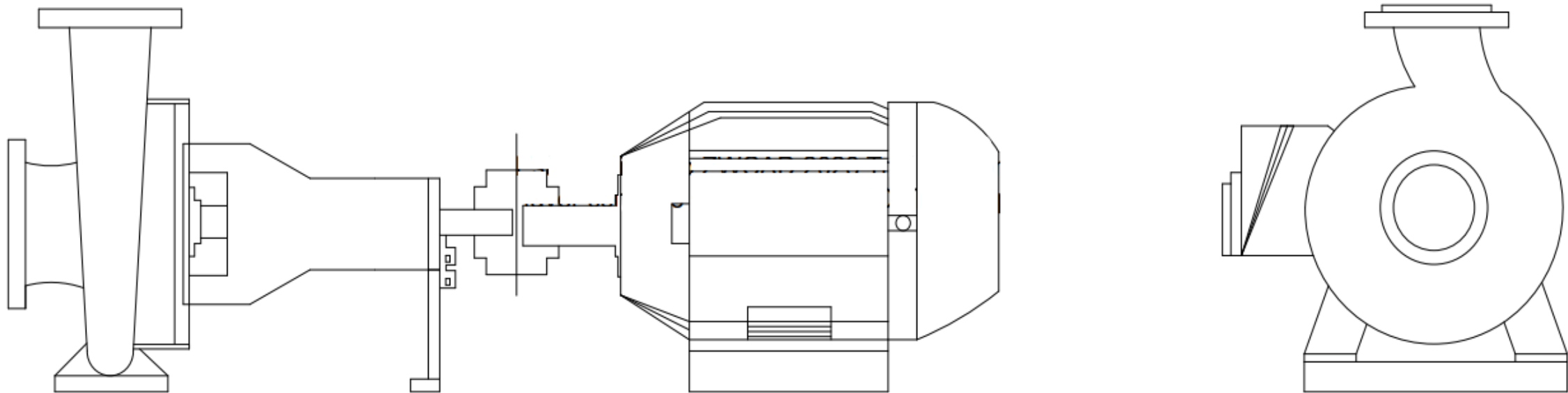
 		Nº Documento	1			
		Proyecto	Planta de HNO3			
		Localización	Sevilla			
		Hoja	1	/	2	
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Bomba de impulsión		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL					
	Tag	P - 01	Fabricante		--	
	Función	Impulsar	Localización		Sevilla	
	Cantidad	1	Tipo de equipo		Bomba de impulsión	
2	DATOS DE DISEÑO					
	Materiales implicados en la filtración		-	Amoniacó (NH3)		
	Composición		%	NH3: 100		
	Código de diseño		-	(1)		
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN					
	Capacidad de la corriente		kg/día	15762		
	Tiempo de Operación		h	8000		
	Rendimiento		%	75		
	Potencia		kW	346,5		
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS					
	Cuadro de Control		-	(1)		
	Motores		-	(1)		
	Lubricación por spray		-	(1)		
	Placa de características		-	(1)		
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO					
	NPSHd		m	(1)		
	NPSHr		m	(1)		
	Curva característica		-	(1)		

6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	-33
	Temperatura de salida	°C	-15
	Presión de entrada	bar	1
	Presión de salida	bar	12,4
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

		Nº Documento		1		
		Proyecto		Planta de HNO ₃		
		Localización		Sevilla		
		Hoja		2	/	2
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Bomba de impulsión		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA					
						

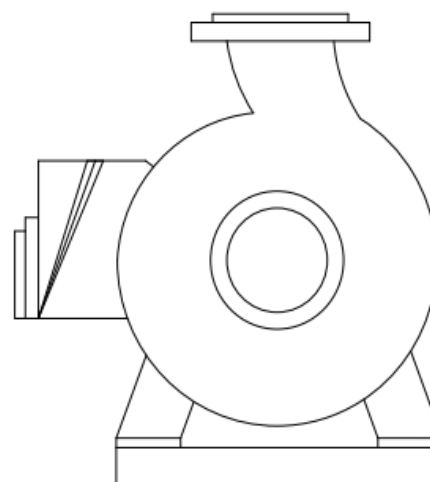
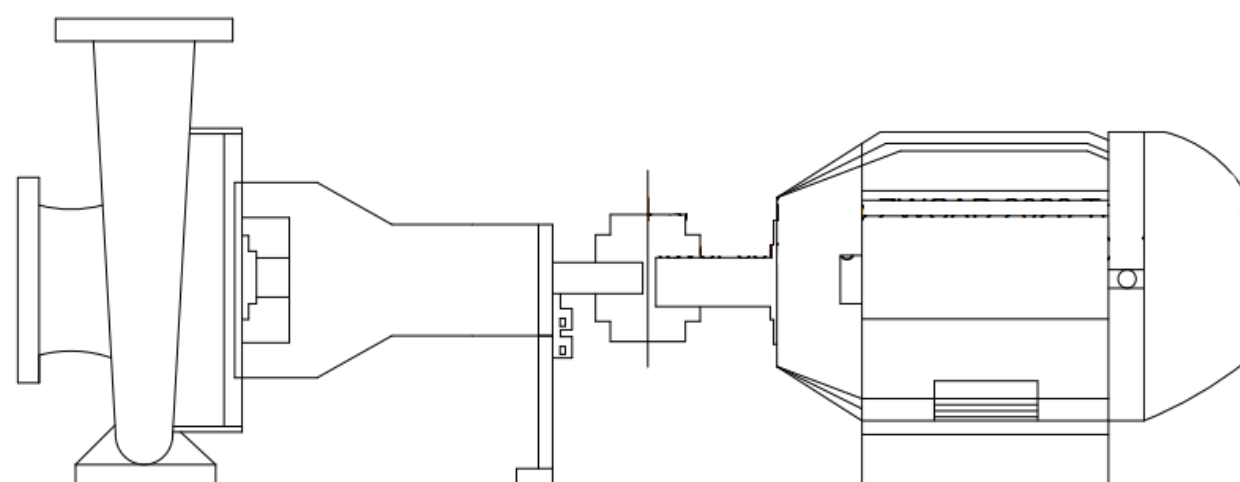
 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Bomba de impulsión				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	P - 02			Fabricante		--		
	Función	Impulsar			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Bomba de impulsión		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la filtración			-	Mezcla de aire, agua, NOx y HNO ₃				
	Composición			%	O ₂ : 0,49				
				%	N ₂ : 71,59				
				%	Inertes: 1,14				
				%	H2O: 7,93				
				%	NO: 0,23				
				%	NO ₂ : 0,24				
				%	N ₂ O ₄ : 0,18				
				%	HNO ₃ : 18,19				
Código de diseño			-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente			kg/día	266362				
	Tiempo de Operación			h	8000				
	Rendimiento			%	75				
	Potencia			kW	347,7				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control			-	(1)				
	Motores			-	(1)				
	Lubricación por spray			-	(1)				

	Placa de características	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	NPSHd	m	(1)
	NPSHr	m	(1)
	Curva característica	-	(1)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	100
	Temperatura de salida	°C	100
	Presión de entrada	bar	7,5
	Presión de salida	bar	7,5
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA  Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento		1		
		Proyecto		Planta de HNO ₃		
		Localización		Sevilla		
		Hoja		2	/	2
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Bomba de impulsión		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA					
						

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Bomba de impulsión				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	P - 03		Fabricante		--			
	Función	Impulsar		Localización		Sevilla			
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Bomba de impulsión			
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la filtración		-	Mezcla de aire, agua, NOx y HNO ₃					
	Composición		%	O ₂ : 0,35					
			%	N ₂ : 66,23					
			%	Inertes: 1,06					
			%	H ₂ O: 12,86					
			%	NO: 0,15					
			%	NO ₂ : 0,03					
			%	N ₂ O ₄ : 0,01					
			%	HNO ₃ : 19,30					
Código de diseño		-	(1)						
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente		kg/día	259108					
	Tiempo de Operación		h	8000					
	Rendimiento		%	75					
	Potencia		kW	14,39					
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control		-	(1)					
	Motores		-	(1)					
	Lubricación por spray		-	(1)					

	Placa de características	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	NPSHd	m	(1)
	NPSHr	m	(1)
	Curva característica	-	(1)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	48
	Temperatura de salida	°C	48
	Presión de entrada	bar	10
	Presión de salida	bar	15
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 		Nº Documento		1		
		Proyecto		Planta de HNO ₃		
		Localización		Sevilla		
		Hoja		2	/	2
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Bomba de impulsión		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA					
						

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Bomba de impulsión				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	P - 04		Fabricante		--			
	Función	Impulsar		Localización		Sevilla			
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Bomba de impulsión			
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la filtración		-	Mezcla de HNO ₃ y H ₂ O					
	Composición		%	H ₂ O: 40					
			%	HNO ₃ : 60					
	Código de diseño		-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente		kg/día	83333					
	Tiempo de Operación		h	8000					
	Rendimiento		%	75					
	Potencia		kW	14,39					
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control		-	(1)					
	Motores		-	(1)					
	Lubricación por spray		-	(1)					
	Placa de características		-	(1)					
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO								
	NPSHd		m	(1)					
	NPSHr		m	(1)					
	Curva característica		-	(1)					
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN								

	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	55
	Temperatura de salida	°C	55
	Presión de entrada	bar	10
	Presión de salida	bar	12
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	NOTAS		
9	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

Nº Documento	1			
Proyecto	Planta de HNO ₃			
Localización	Sevilla			
Hoja	2	/	2	

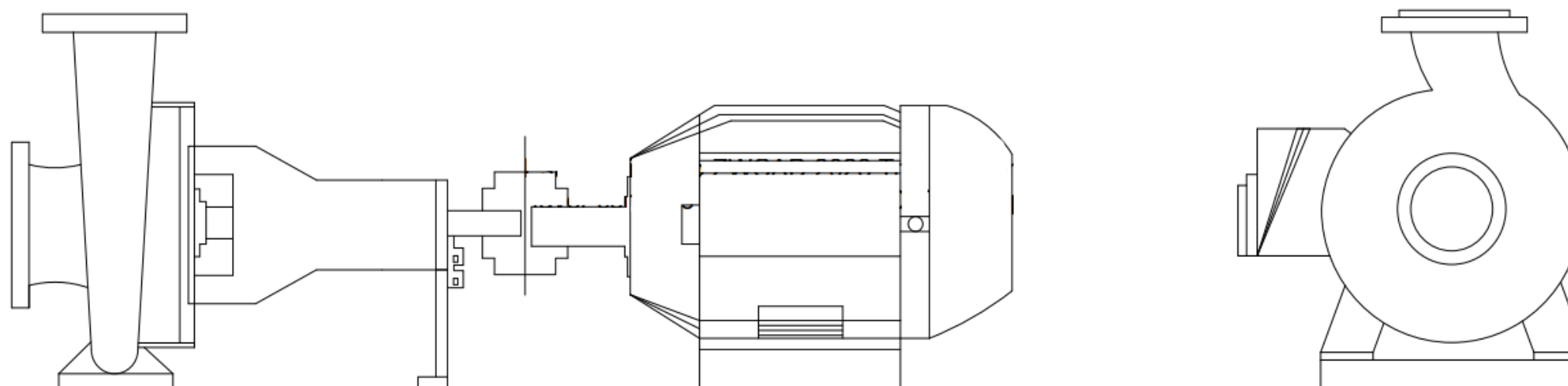
HOJAS DE DATOS

Bomba de impulsión

Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM

ESQUEMA

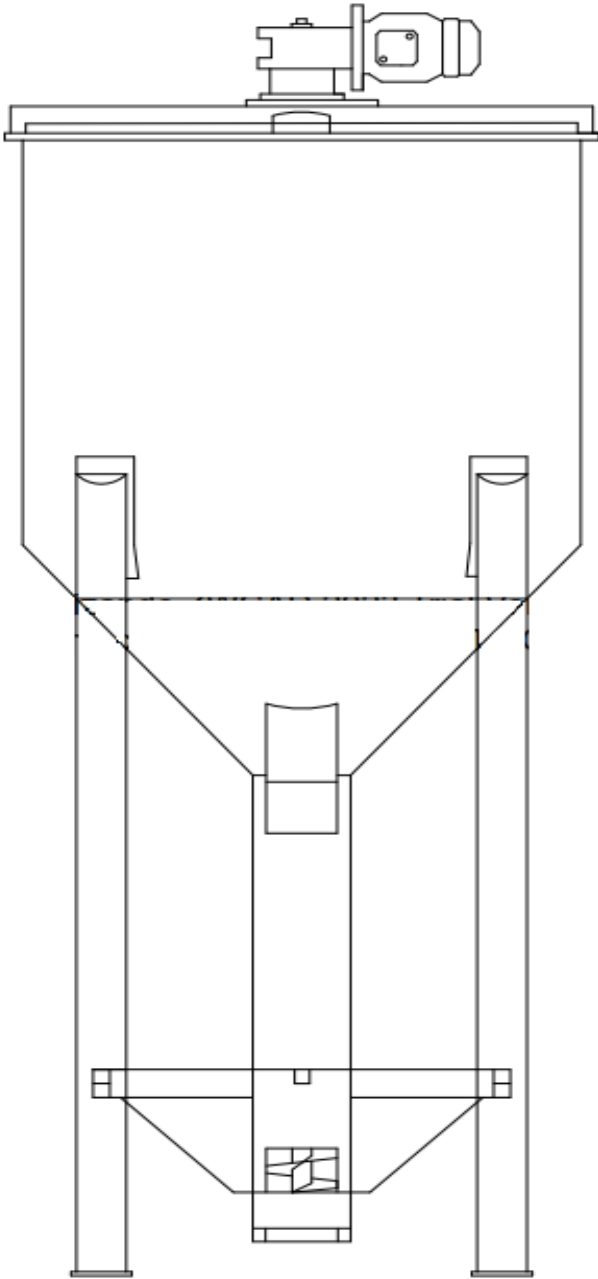
10



5.6. Mezclador

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Mezclador				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	MX - 01			Fabricante		--		
	Función	Mezclar			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Mezclador		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la mezcla			-	Mezcla de NH ₃ y aire				
	Composición			%	NH ₃ : 6				
				%	Aire: 94				
	Código de diseño			-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente			kg/día	269450				
	Tiempo de Operación			h	8000				
	Rendimiento			%	(1)				
	Calor transferido			kW	0 (adiabático)				
	Potencia			kW	(1)				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control			-	(1)				
	Motores			-	(1)				
	Lubricación por spray			-	(1)				
	Tolva de entrada			-	(1)				
	Tolva de salida			-	(1)				
	Placa de características			-	(1)				
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO								

	Área	m2	(1)
	Diámetro	m	(1)
	Altura	m	(1)
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada amoniaco	°C	177
	Temperatura de entrada aire	°C	262
	Temperatura de salida mezcla	°C	250,9
	Presión de entrada amoniaco	bar	12,4
	Presión de entrada aire	bar	13,4
	Presión de salida mezcla	bar	12,4
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

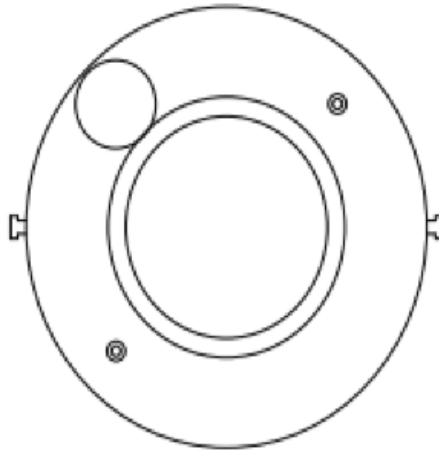
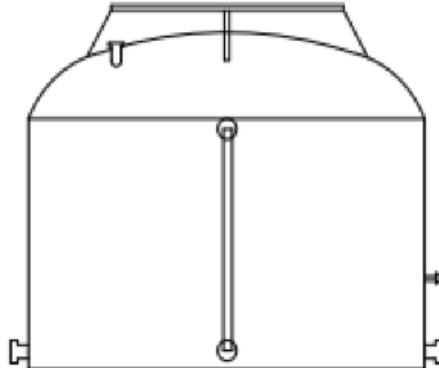
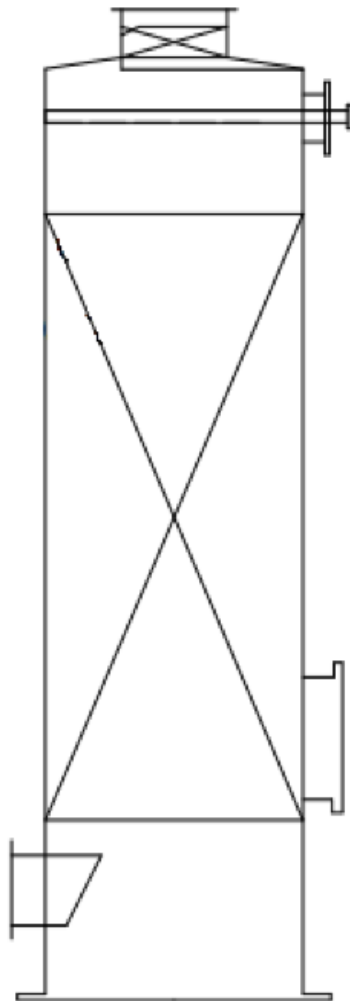
		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Mezclador			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
							

5.7. Columnas

 UNIVERSIDAD D SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Columna de absorción				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	R - 01			Fabricante		--		
	Función	Absorber			Localización		Sevilla		
	Cantidad	1			Tipo de equipo		Columna de absorción		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la absorción			-	Mezcla de aire, NOx y agua				
	Composición corriente de entrada 11			%	O ₂ : 0,49				
				%	N ₂ : 71,59				
				%	Inertes: 1,14				
				%	H ₂ O: 7,93				
				%	NO: 0,23				
				%	NO ₂ : 0,24				
				%	N ₂ O ₄ : 0,18				
				%	HNO ₃ : 18,19				
	Composición corriente de entrada 17			%	O ₂ : 5,68				
				%	N ₂ : 92,57				
				%	Inertes: 1,48				
				%	H ₂ O: 0				
				%	NO: 0,08				
				%	NO2: 0,01				
				%	N ₂ O ₄ : 0,18				
				%	HNO ₃ :0				
	Composición corriente 54			%	H ₂ O: 100				
	Composición corriente de salida 12			%	O ₂ : 0,35				

		%	N ₂ : 66,23
		%	Inertes: 1,06
		%	H ₂ O: 12,86
		%	NO: 0,15
		%	NO ₂ : 0,03
		%	N ₂ O ₄ : 0,01
		%	HNO ₃ : 19,30
	Composición corriente de salida 18	%	O ₂ : 5,24
		%	N ₂ : 92,13
		%	Inertes: 1,47
		%	H ₂ O: 0,84
		%	NO: 0,1
		%	NO ₂ : 0,03
		%	N ₂ O ₄ : 0,19
		%	HNO ₃ : 0
	Código de diseño	-	(1)
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN		
	Capacidad de la corriente 11	kg/día	266362
	Capacidad de la corriente 17	kg/día	228946
	Capacidad de la corriente 54	kg/día	5000
	Tiempo de Operación	h	8000
	Potencia	kW	2292
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS		
	Cuadro de Control	-	(1)
	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa de características	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Volumen de la columna	m ³	114,3
	Área de la columna	m ²	11,43
	Diámetro de la columna	m	3,82
	Altura de la columna	m	10
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		

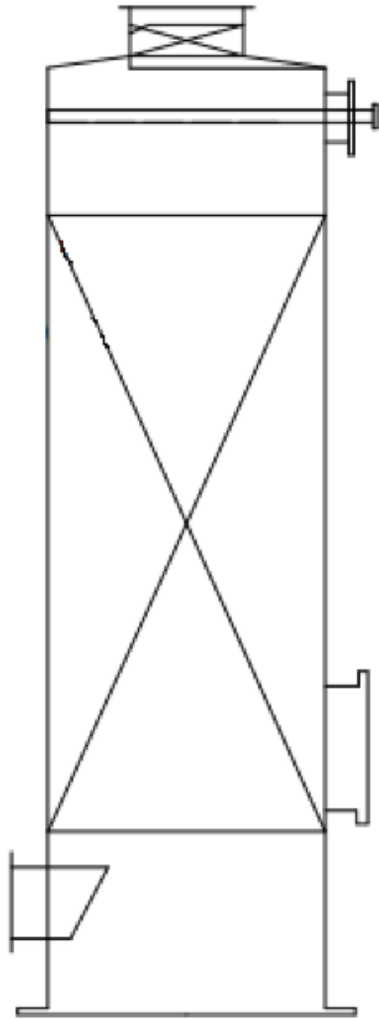
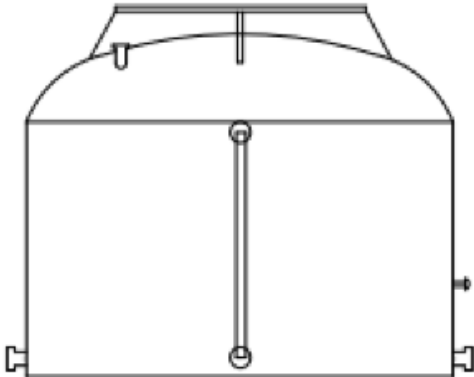
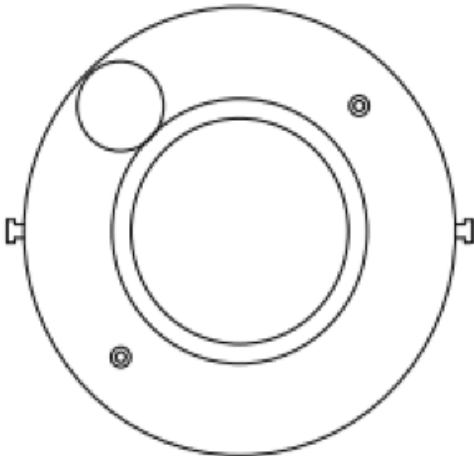
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada corriente 11	°C	100
	Temperatura de entrada corriente 17	°C	65
	Temperatura de entrada corriente 54	°C	7
	Temperatura de salida corriente 18	°C	10
	Temperatura de salida corriente 12	°C	48
	Presión de entrada corriente 11	bar	7,5
	Presión de entrada corriente 17	bar	10
	Presión de entrada corriente 54	bar	1
	Presión de salida corriente 18	bar	9,6
	Presión de salida corriente 12	bar	10
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	NOTAS		
9	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

 UNIVERSIDAD D SEVILLA  Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento		1				
		Proyecto		Planta de HNO3				
		Localización		Sevilla				
		Hoja		2	/	2		
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Columna de absorción				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA							
								

 			Nº Documento	1				
			Proyecto	Planta de HNO ₃				
			Localización	Sevilla				
			Hoja	1		/	2	
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Blanqueador				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
1	GENERAL							
	Tag	BL - 01		Fabricante		--		
	Función	Separar		Localización		Sevilla		
	Cantidad	1		Tipo de equipo		Blanqueador		
2	DATOS DE DISEÑO							
	Materiales implicados en el blanqueo		-	Corriente de proceso y aire				
	Composición entrada		%	O ₂ : 0,35				
			%	N ₂ : 66,23				
			%	Inertes: 1,06				
			%	H ₂ O: 12,86				
			%	NO: 0,15				
			%	NO ₂ : 0,03				
			%	N ₂ O ₄ : 0,01				
			%	HNO ₃ : 19,30				
	Composición salida		%	H ₂ O: 40				
			%	HNO ₃ : 60				
	Código de diseño		-	(1)				
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN							
	Capacidad de la corriente		kg/día	259108				
	Tiempo de Operación		h	8000				
	Rendimiento		%	(1)				
	Potencia		kW	190,5				
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS							
	Cuadro de Control		-	(1)				

	Motores	-	(1)
	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa de características	-	(1)
5	CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO		
	Área	m ²	(1)
	Diámetro	m	(1)
	Altura	m	(1)
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada corriente proceso (13)	°C	48
	Temperatura de entrada aire (35)	°C	80
	Temperatura de salida producto (14)	°C	55
	Temperatura de salida gas NOx (16)	°C	80
	Presión de entrada corriente proceso (13)	bar	15
	Presión de entrada aire (35)	bar	12,4
	Presión de salida producto (14)	bar	10
	Presión de salida gas NOx (16)	bar	10
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24

	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		
	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante		
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería		

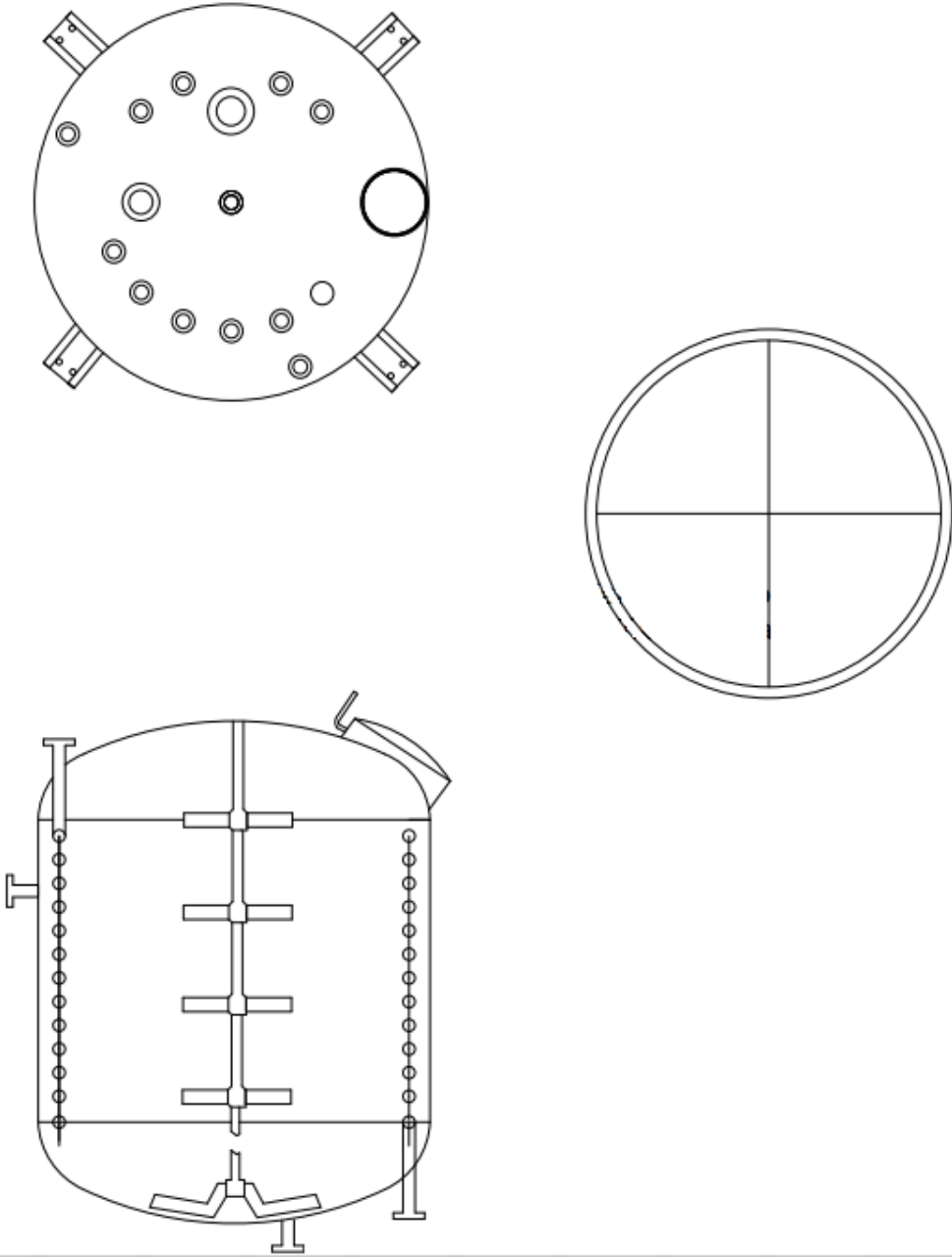
 		Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2	/	2		
HOJAS DE DATOS			Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado
Blanqueador			00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM
10	ESQUEMA						
	  						

5.8. Reactor

 UNIVERSIDAD DE SEVILLA		 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA		Nº Documento	1				
				Proyecto	Planta de HNO ₃				
				Localización	Sevilla				
				Hoja	1		/		2
HOJAS DE DATOS				Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Reactor				00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
1	GENERAL								
	Tag	R - 01		Fabricante			--		
	Función	Oxidar el amoniaco		Localización			Sevilla		
	Cantidad	1		Tipo de equipo			Reactor		
2	DATOS DE DISEÑO								
	Materiales implicados en la reacción		-	Mezcla de NH ₃ y aire					
	Composición			%	NH ₃ : 6				
				%	Aire: 94				
	Productos formados		-	Mezcla de aire y NO					
	Composición			%	Aire: 90				
				%	NO: 10				
	Código de diseño		-	(1)					
3	CARACTERÍSTICAS OPERACIÓN								
	Capacidad de la corriente		kg/día	269450					
	Tiempo de Operación		h	8000					
	Conversión		%	90					
	Potencia		kW	839,7					
	Velocidad espacial		h ⁽⁻¹⁾	2*10 ⁽⁵⁾					
	Velocidad lineal del gas		m/h	4000					
4	ACCESORIOS Y ELEMENTOS								
	Cuadro de Control		-	(1)					
	Motores		-	(1)					

	Lubricación por spray	-	(1)
	Placa de características	-	(1)
5	DIMENSIONES DEL EQUIPO		
	Volumen del reactor	m ³	1,55
	Diámetro interno del reactor	m	0,7
	Altura del reactor	m	4,02
	Altura del relleno	mm	25,0
	Material de Construcción	-	Acero P355NL2 (acero para equipos de alta presión y gran resistencia)
6	CONDICIONES DE OPERACIÓN		
	Condiciones de Trabajo	-	Continuo 8 h al día
	Temperatura de entrada	°C	250 ,9
	Temperatura de salida	°C	645
	Presión de entrada	bar	12,4
	Presión de salida	bar	7,5
7	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL		
	Adherente	-	N/A
	Higroscópico	-	Si aplica
	Tóxico	-	Si aplica
	Abrasivo	-	Si aplica
	Fluidificable	-	N/A
	Corrosivo	-	Si aplica
	Explosivo	-	Si aplica
8	PRUEBAS DEL FABRICANTE E INSPECCIONES		
	Prueba operación	-	Según el plan de puntos de inspección (PPI)
	Otras pruebas	-	NA
	Inspección visual	-	Requerida
	Pruebas de ultrasonido	-	Si, 100% de las soldaduras
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
	Protección eléctrica	-	Requerida
	Garantía de Servicio	meses	24
	Garantía tras la entrega	meses	24
	Cumplimiento de tolerancia	-	Requerida
9	NOTAS		
	(1) Nota 1: Dato a proporcionar por fabricante		

	Nota 2: Dato a confirmar por fabricante
	Nota 3: Dato pendiente de confirmar por ingeniería

	 Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA	Nº Documento	1				
		Proyecto	Planta de HNO ₃				
		Localización	Sevilla				
		Hoja	2		/		2
HOJAS DE DATOS		Rev.	Fecha	Preparado	Revisado	Aprobado	
Reactor		00	24/09/2023	DOM	DOM	DOM	
10	ESQUEMA						
							

6 ANÁLISIS DE SEGURIDAD

Con el objetivo del posterior montaje de la planta de ácido nítrico, se realiza el análisis de seguridad de la presente planta con el HAZOP que se muestra a continuación.

Tabla 64 Análisis de seguridad (HAZOP) de la planta de HNO₃. Fuente Propia.

Análisis de riesgo, HAZOP									
Nº	Descripción de riesgos	Describir la situación. ¿Quién podría ser perjudicado y cómo?	¿Cómo se actúa?	Nivel de riesgos del 1 al 10	Probabilidad de que el riesgo ocurra del 1 al 10	Grado de riesgo	Posible intervención adicional	Probabilidad de riesgo estimada (Riesgo de falla) del 1 al 10	Conclusiones
	Peligros físicos								
1	Eléctrico	Muchas máquinas son eléctricas, algunas de ellas con alto voltaje, la electricidad puede producir descarga, cortocircuito, descarga electrostática.	EPI, Advertencia, buen diseño, buena interconexión de equipos, líneas y cables eléctricos, y fuentes de energía, equipos de puesta a tierra y cables, Carcasa de protección de motores de piezas en continuo movimiento, Carcasa de protección de motores de piezas en continuo movimiento.	4	2	8	Construcción e integración de los sistemas eléctricos por electricistas profesionales homologados y realizar varias verificaciones durante las pruebas de puesta en marcha.	3	No Acción'
2	Fuego	Debido al empleo de sustancias inflamables durante dicha operación pueden provocar la ignición y la propagación del fuego.	EPI, Alerta y alarmas, Sistema contra incendio, Señalización e indicativos, Protocolos de actuación, Supervisión permanente, Plan de evacuación, Extintores.	7	6	42	-	6	Control.

3	Explosión	Muchas máquinas son eléctricas, algunas de ellas con alto voltaje, la electricidad puede producir descarga, cortocircuito, descarga electrostática. Esto puede ocasionar calambres, explosiones e incendios. Además, en la planta existen equipos que trabajan a elevadas presiones lo que favorecen a la ocurrencia de dichas explosiones. Además, se trabajan con equipos que operan a presiones elevadas favoreciendo a dicha probabilidad de riesgo	EPI, Alerta y alarmas, Sistema contra incendio, Señalización e indicativos, Protocolos de actuación, Supervisión permanente, Plan de evacuación, Extintores.	8	5	40	-	6	Control.
4	Intoxicación	Durante la operación, debido a los diferentes procesos que se producen en la planta de ácido nítrico y al empleo de sustancias de elevado grado de toxicidad para las personas como es el caso del amoniaco y del propio ácido nítrico a obtener el cual puede originar diversas lesiones de gran importancia.	EPT's, Sistemas de ventilación y Sistemas de contención	8	5	40	-	6	Control.
5									
6									
7									
	Peligros biológicos								

1	covid-19	Durante el desempeño de la actividad y de la construcción de la planta, acumulación de varias personas reunidas en un entorno reducido.	Empleo de gel hidroalcohólico, empleo de mascarillas y distancia recomendada por la OMS.	0	0	0	-	0	Vacío
2									
	Peligros ergonómicos								
1	Cortes por objetos	Durante la construcción y operación hay algunas herramientas y equipos que pueden ocasionar cortes.	EPI, Proteger los bordes de corte.	4	7	28	-	5	Entre Control & No Acción
3	Aplastamiento	Durante la construcción y operación hay maquinaria que pueden ocasionar el aplastamiento de partes del cuerpo.	EPI, Advertencias de maquinaria giratoria, botón de parada, experiencia requerida para constructores.	2	3	6	-	2	No Acción'
4	Atrapamiento	Durante la construcción y operación hay un gran número de maquinaria y partes rotativas de estas, que pueden ocasionar el atrapamiento de partes del cuerpo.	EPI, Advertencias de maquinaria giratoria, botón de parada, experiencia requerida para constructores.	2	3	6	-	2	No Acción'

5	Punzonamiento	Durante la construcción y operación hay un gran número de maquinaria y herramientas afiladas las cuales son punzantes y pueden llegar a provocar infecciones y lesiones en los operarios.	EPI, Proteger los bordes de corte.	1	3	3	-	2	No Acción'
6	Quemadura	Durante la construcción y la operación se van a utilizar maquinaria eléctrica que puede, provocar el calentamiento de dichas máquinas o zonas en contacto con ella, pudiendo provocar lesiones por quemadura al operario.	EPI, Advertencia	4	7	28	-	5	Entre Control & No Acción
7	Estrés	Presión generada por la cantidad de trabajo o frustración originada por el desempeño de un trabajo exigente.	División del trabajo entre varios operarios especializados para reducir la carga de trabajo	0	0	0	-	0	Vacío

8	Caída del trabajador	Durante la construcción algunos trabajos se realizan en altura y estas caídas pueden ser un peligro.	EPI, Advertencia, línea de vida, estructura auxiliar.	2	3	6	-	2	No Acción'
	Caída de objetos	Durante la construcción, las herramientas, el material y las estructuras pueden caer desde una determinada altura.	EPP, Advertencia, lista de verificación de herramientas durante la construcción, no deje objetos desatendidos, siempre ate los objetos cuando se mueva o trabaje, limite la zona de trabajo, almacene los objetos de manera organizada de acuerdo con sus dimensiones y orden de utilización cerca de la zona del edificio, posicionamiento del equipo guiado por cuerdas, verifique que las cargas estén siempre atadas y equilibradas, siempre transporte las cargas por 2 puntos.	2	3	6	-	2	No Acción'
10									
	Organización								
1	Trabajos de mantenimiento			0	0	0	-	0	Vacío

2	Técnicas de gestión / horas de trabajo			0	0	0	-	0	Vacío
3	Política de trabajo / compra			0	0	0	-	0	Vacío
4									
5									
6									
7									
8									
	Empleados específicos								
1	Minusválidos			0	0	0	-	0	Vacío
2	Visitantes			0	0	0	-	0	Vacío
3									
4									
5									
6									

A modo de resumen del estudio de seguridad realizado, se presenta una gráfica la cuál muestra los niveles de riesgos de manera representativa.

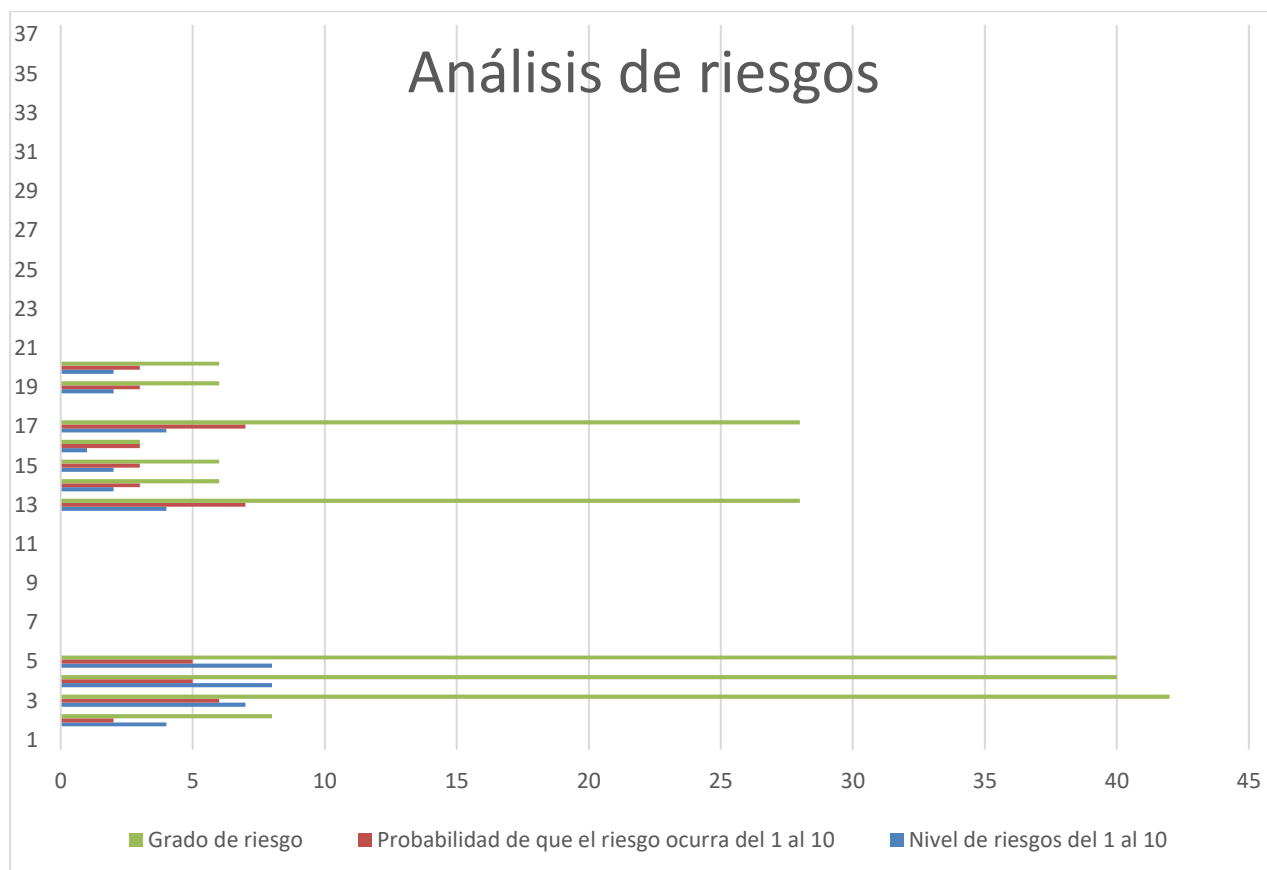


Figura 62 Representación gráfica del HAZOP de la planta. Fuente Propia.

Para finalizar el análisis de seguridad de la planta, se muestra una tabla resumen con los posibles riesgos detectados y las técnicas de control establecidas para el correcto funcionamiento y seguridad de la planta.

Tabla 65 Tabla resumen de riesgos. Fuente Propia.

Tabla de sumatorio de riesgos	
Riesgos	Cantidad
Vacío	7
En Medio de Todo	0
Entre Control & No Acción	2
Entre Acción & Advertencia	0
Entre No Acción & Advertencia	0
Entre Control & Acción	0
Advertencia	0
Acción	0
No acción	6
Control	3

7 GESTIÓN DE RESIDUOS

Con el objetivo de crear conciencia con el medio ambiente, se pretende fomentar la elaboración de las distintas actividades de manera sostenible.

De acuerdo con este objetivo, se realiza un Sistema de Gestión de Residuos (SGR) con el fin de reducir el impacto ambiental y asegurar el correcto tratamiento de los residuos que se puedan originar en dicha planta.

Tabla 66 Catálogo de residuos. Fuente Propia.

Sustancias	Capítulos (Fuente del residuo)	Subcapítulos (Categoría del residuo)	Grupo de residuo	Código LER. (Asegre, s.f.)	Nota
Ácido nítrico	06	01	05 *	06 01 05 *	Residuos de procesos químicos inorgánicos. Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización [FFDU] de ácidos. Ácido nítrico y ácido nitroso
Inertes e impurezas	06	01	99	06 01 99	Residuos de procesos químicos inorgánicos. Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización [FFDU] de ácidos. Residuos no especificados en otra categoría
Otros residuos	06	10	02 *	06 10 02 *	Residuos de procesos químicos inorgánicos. Residuos de la [FFDU] de productos químicos que contienen nitrógeno, de procesos químicos del nitrógeno y de la fabricación de

					fertilizantes. Residuos que contienen sustancias peligrosas
Otros residuos	06	10	99	06 10 99	Residuos de procesos químicos inorgánicos. Residuos de la [FFDU] de productos químicos que contienen nitrógeno, de procesos químicos del nitrógeno y de la fabricación de fertilizantes. Residuos no especificados en otra categoría
Fuel	13	07	01	13 07 01 *	Residuos de aceites y de combustibles líquidos. Residuos de combustibles líquidos. Fuel oil y gasóleo
Catalizadores	16	08	01	16 08 01	Residuos no especificados. Catalizadores usados. Catalizadores usados que contienen oro, plata, renio, rodio, paladio, iridio o platino
Residuos líquidos acuoso con las distintas sustancias de la planta de HNO ₃	16	10	01	16 10 01*	Residuos no especificados. Residuos líquidos acuoso destinados a planta de tratamiento externas. Residuos líquidos acuoso que contienen

					sustancias peligrosas
--	--	--	--	--	--------------------------

Los residuos que contienen en el código LER “*” es debido a que se consideran como residuos peligrosos.

El agua empleada en la columna de absorción, en la refrigeración y como agua de proceso se enviarán a una planta de tratamiento de agua con el fin de obtener nuevamente agua pura para asegurar la mayor eficiencia de la planta.

Posibles fugas de HNO_3 y NH_3 de los tanques que se tratarán de acuerdo a las leyes impuestas por los distintos organismos.

El resto de inertes e impurezas serán tratadas de acuerdo a las leyes impuestas por los distintos organismos.

8 FICHA DE SEGURIDAD. (FISHER, S.F.)

8.1. Identificación de la sustancia

8.1.1 Identificador del producto y usos pertinentes

Nombre del producto: Ácido nítrico (60%).

Uso recomendado: Productos químicos de laboratorio.

Sector de usos: Usos de sustancias como tales o en preparados de emplazamientos industriales (SU3 – Usos industriales).

Categoría del producto: Productos químico (PC21).

Usos desaconsejados: Sin información.

8.2. Identificación de los peligros

CLP clasificación – Reglamento (CE) N°. 1272/2008.

8.2.1 Clasificación de la sustancia

- **Peligros físicos**
 - Líquidos comburentes: Categoría 3 (H272).
 - Sustancias/mezclas corrosivas para los metales: Categoría 1 (H290).
- **Peligros para la salud**
 - Toxicidad aguda por inhalación – Vapores: Categoría 3 (H331).
 - Corrosión o irritación cutáneas: Categoría 1 (H314) A.
 - Lesión o irritación ocular grave: Categoría 1 (H318).
- **Peligros para el medio ambiente**
 - Según criterios de clasificación.

8.2.2 Elementos de la etiqueta



Figura 63 Simbología en la etiqueta del producto.

- **Indicaciones de peligro**

- H290: Puede ser corrosivo para los metales.
- H272: Puede agravar un incendio (comburente).
- H331: Tóxico en el caso de inhalación.
- H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
- EUH071: Corrosivo para las vías respiratorias.

- **Prevención**

- P280: Llevar EPIs.
- P221: Tomar todas las precauciones necesarias para no mezclar dicha sustancia con combustibles.
- P301, P330, P331: En caso de ingestión: Lavarse la boca. **IMPORTANTE: NO** provocar el vómito.
- P305, P351, P338: En caso de contacto con los ojos: Lavarlos con agua cuidadosamente durante varios minutos.
- P310: Llamar a un centro de información toxicológica o médico.
- P303, P361, P353: En caso de contacto con la piel o el pelo: Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Lavarse la piel con agua.

8.3. Primeros auxilios

8.3.1 Descripción de los primeros auxilios

Mostrar esta ficha de datos de seguridad al médico (necesaria atención médica inmediata).

- Contacto con los ojos: Lavárselos inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Se necesita atención médica inmediata.
- Contacto con la piel: Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Se necesita atención médica inmediata.
- Ingestión: No provocar el vómito. Llamar inmediatamente a un médico o centro de información toxicológica.
- Inhalación: Si no respira, realizar técnicas de respiración artificial. No utilizar el método boca a boca si la víctima ha ingerido o inhalado la sustancia. Realizar la respiración artificial con ayuda de una mascarilla adecuada u otro dispositivo médico para reanimación respiratoria apropiada. Transportar la víctima al exterior. Se necesita atención médica inmediata.
- Equipos de protección para el personal de primeros auxilios: Utilizar EPIs obligatorios. Evitar el contacto con la piel, los ojos o la ropa.

8.3.2 Principales síntomas y efectos (agudos y retardados)

Causa quemaduras en todas las zonas expuestas. La ingestión provoca edemas y lesiones graves de los tejidos delicados y peligro de perforación.

8.3.3 Indicación para el médico

- El HNO_3 es un producto corrosivo.
- El lavado gástrico o los vómitos no deben de producirse.
- Debe investigarse una posible perforación del estómago o esófago.
- No suministrar antídotos químicos.
- Puede producirse edemas de glotis.
- Puede producirse una gran disminución de la presión sanguínea con estertores húmedos, esputo espumoso.
- Presión arterial elevada.
- Tratar los síntomas.

8.4. Medidas de lucha contra incendios

8.4.1 Medios de extinción

- Apropriados: No usar un chorro compacto de agua ya que puede dispersar y extender el fuego.
- No deben de utilizarse: No hay información al respecto.

8.4.2 Peligros específicos derivados del producto

Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes. El producto provoca quemaduras en los ojos, piel y las membranas mucosas. Oxidante: Peligro de fuego en contacto con materias combustibles/orgánicas. Puede provocar la ignición de combustibles (madera, papel, aceite, ropa, etc.).

- Productos de combustión peligrosos: Óxidos de nitrógeno (NO_x): Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes).

8.4.3 Recomendaciones para bomberos y seguridad

Llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda y todo el equipo de protección necesario. Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes.

8.5. Medidas en caso de vertido vertical

8.5.1 Precauciones del personal, equipos de protección y procedimiento de emergencia

Asegurar una ventilación adecuada. Utilizar EPIs de obligado uso. Evacuar al personal a zonas seguras y alejarlas en dirección contrario al viento en una fuga o vertido.

8.5.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No debe liberarse al medio ambiente, ni a aguas superficiales o alcantarillado.

8.5.3 Métodos y material de contención y limpieza

Absorber con material absorbente inerte. Mantener en contenedores cerrados aptos para su eliminación. Barrer y recoger en contenedores apropiados para su eliminación.

8.6. Manipulación y almacenamiento

8.6.1 Cuidados para manipulación segura

Llevar EPIs. Evitar contacto con los ojos, piel o ropa. Usar solo bajo un protector contra humos químicos. No respirar niebla, vapores y aerosoles. No ingerir. En caso de ingestión, buscar inmediatamente asistencia médica. Mantener alejado de la ropa y otros materiales combustibles.

- Medidas higiénicas: No comer, beber, fumar durante su uso. Respirar y lavar la ropa y guantes contaminados, por dentro y por fuera, antes de volver a usarlos. Limpieza regular del equipo, área de trabajo e indumentaria. Mantener lejos de los alimentos, bebidas y piensos. Las prendas de trabajo contaminadas no podrán sacarse del lugar de trabajo. Evitar el contacto con la piel, ojos o ropa. Retirar la ropa y los guantes contaminados. Usar EPIs adecuados.

8.6.2 Condiciones de almacenamiento seguro

- Mantener los contenedores perfectamente cerrados en un lugar fresco, seco y bien ventilado.
- No almacenar combustibles.
- Área de sustancias corrosivas.
- No almacenar en recipientes de metal.
- Mantener contenedores adecuadamente etiquetados.

8.6.3 Empleo específico final

Uso para fertilizantes.

8.7. Controles de exposición/protección individual

8.7.1 Límites de exposición

EU - Directiva (UE) 2019/1831 de la Comisión de 24 de octubre de 2019 por la que se establece una quinta lista de valores límite de exposición profesional indicativos de conformidad con la Directiva 98/24/CE del Consejo y por la que se modifica la Directiva 2000/39/CE de la Comisión ES Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (INSST).

Tabla 67 Límite de exposición profesional para agentes químicos en España (1999).

Componente	Unión Europea	España
Ácido nítrico	STEL: 1 ppm (15 min)	STEL / VLA-EC: 1 ppm (15 min)

	STEL: 2,6 mg/m ³ (15 min)	STEAL / VLA-EC: 2,6 mg/m ³ (15 min)
--	--------------------------------------	--

8.7.2 Límites biológicos

No presenta ningún material peligroso con límites biológicos establecidos por los organismos reguladores regionales específicos.

8.7.3 Control de la exposición

- **Medidas técnicas**

- Asegurar las estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad cerca del lugar de trabajo.
- Asegurar una ventilación adecuada, especialmente en áreas confinadas.
- Adoptar medidas de control (aislamiento o confinamiento) del proceso.
- Sistemas de ventilación correctamente diseñados para controlar este tipo de sustancias.

- **Equipos de protección personal**

- Protección de los ojos: Antiparras (Normas de la UE – EN 166).
- Protección de las manos: Guantes protectores.

Tabla 68 Material de protección en los guantes.

Material de los guantes	Tiempo de penetración	Espesor de los guantes	Normas de la UE	Notas
Guantes de neopreno	> 480 min	0,45 mm	EN 374. Nivel 6	Según las pruebas realizadas de acuerdo con EN374-3. Determinación de la resistencia a la permeación por productos químicos
Goma de butilo	> 480 min	0,56 mm		
Vitón ®	> 480 min	0,7 mm		

- **Protección de la piel y el cuerpo: Ropa de manga larga.**

- Protección respiratoria: Cuando los empleados se enfrenten a concentraciones superiores al límite de exposición, utilizar respiradores. Este equipo de protección debe ajustarse correctamente y estar sometido a un uso y mantenimiento adecuado.

- **Controles de exposición medioambiental:** Prevenir la penetración del producto en desagües.

8.8. Estabilidad y reactividad

Tabla 69 Estabilidad y reactividad del producto.

Estabilidad y reactividad	
Propiedades	Comentarios

Reactividad	Si	-
Estabilidad química	Oxidante	Peligro de fuego en contacto con materias combustibles u orgánicas
Polimerización peligrosa	No	No se produce ninguna
Reacciones peligrosas	No	Ninguna durante un proceso normal
Materiales incompatibles	Si	Bases fuertes, agentes reductores, aldehídos, alcoholes, cianuros, metales, metales finamente pulverizados, materiales orgánicos, amoníaco, material combustible, fuertes agentes reductores
Productos de descomposición peligrosos	Si	NOx: Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes

8.9. Información toxicológica

8.9.1 Información sobre la clase de peligro definidas en el Reglamento (CE) Nº. 1272/2008

- **Toxicidad aguda**

- Oral: Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- Cutánea: Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- Inhalación: Categoría 3. Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.

Tabla 70 Toxicidad del producto.

Componente	DL50 Oral	DL50 Cutánea	LC50 Inhalación
Ácido nítrico	-	-	LC50 = 2500 ppm. (Rat) 1 h
Agua	-	-	-

- **Corrosión o irritación cutánea:** Categoría 1A.
- **Lesiones o irritación ocular grave:** Categoría 1.
- **Sensibilización respiratoria:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Sensibilización cutánea:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Mutagenicidad en células germinales:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Carcinogenicidad:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación. Este producto no contiene componentes químicos reconocidos como carcinógenos.

- **Toxicidad para la reproducción:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) exposición única:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) exposición repetida:** Según los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.
- **Órganos diana:** Ninguno conocido.
- **Peligros de aspiración:** La ingestión provoca edemas y lesiones graves de los tejidos delicados y peligro de perforación.

8.9.2 Información sobre otros peligros

- **Propiedades de alteración endocrina:** Evaluar las propiedades de alteración endocrina en la salud humana. Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo.

8.10. Información ecológica

- **Toxicidad**
 - Efectos de ecotoxicidad: No tirar los residuos por el desagüe. Grandes cantidades afectarán al pH y producirán daños en los organismos acuáticos. Contiene una sustancia que es nociva para los organismos acuáticos. EL producto contiene sustancias que son peligrosas para el medio ambiente.
- **Persistencia:** Soluble en agua. La persistencia es improbable. Miscible con agua.
- **Potencial de bioacumulación:** El material no se bioacumula (es improbable).

Tabla 71 Bioconcentración del ácido nítrico.

Componente	log Pow	Factor de bioconcentración (FBC)
Ácido nítrico	-2,3	No hay datos disponibles

8.10.1 Movilidad en el suelo

El producto es soluble en agua y puede propagarse en sistemas acuosos. Probablemente será móvil en el medio ambiente debido a su solubilidad en agua. Altamente móvil en suelos.

8.10.2 Resultados de la valoración PBT y mPmB

Sustancia no considerada ser persistente, bioacumulable, ni tóxica (PBT) / muy persistente, ni bioacumulable (vPvB).

8.10.3 Propiedades de alteración endocrina

- **Información del alterador del sistema endocrino:** Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo.

8.10.4 Otros efectos adversos

- **Contaminantes Orgánicos Persistentes:** Este producto no contiene ninguna sustancia o sospechosa de serla.
- **Potencial de reducción de ozono:** Este producto no contiene ninguna sustancia o sospechosa de serla.

8.11. Consideraciones relativas a la eliminación

8.11.1 Métodos para el tratamiento de residuos

- **Restos de residuos/productos sin usar:** Los desechos están clasificados como peligrosos de acuerdo a las Directivas Europeas sobre desechos y desechos peligrosos. Eliminar de conformidad con las normativas locales.
- **Embalaje contaminado:** No volver a utilizar los contenedores vacíos. Deshágase de este recipiente en un punto de recogida de residuos especiales o peligrosos.
- **Catálogo de Desechos Europeos:** Según el Catálogo Europeo de Residuos, los códigos de residuos no son específicos del producto sino específicos de la aplicación.
- **Otra información:** El usuario debe asignar códigos de residuos basándose en la aplicación para la que se utilizó el producto. No verter en la red de alcantarillado. No tirar los residuos por el desagüe. Grandes cantidades afectarán al pH y producirán daños en los organismos acuáticos. Neutralizar las soluciones con un pH bajo antes de eliminarlas.

8.12. Información relativa al transporte

8.12.1 IMDG/IMO

- **Número ONU:** UN2031.
- **Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:** Ácido nítrico.
- **Clase de peligro para el transporte:** 8.
- **Clase de peligro subsidiario:** 5,1.
- **Grupo de embalaje:** II.

8.12.2 ADR

- **Número ONU:** UN2031.
- **Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:** Ácido nítrico.
- **Clase de peligro para el transporte:** 8.
- **Clase de peligro subsidiario:** 5,1.
- **Grupo de embalaje:** II.

8.12.3 IATA

- **Número ONU:** UN2031.

- **Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:** Ácido nítrico.
- **Clase de peligro para el transporte:** 8.
- **Clase de peligro subsidiario:** 5,1.
- **Grupo de embalaje:** II.
- **Peligros para el medio ambiente:** No hay peligros identificados.
- **Precauciones particulares para los usuarios:** No se requieren precauciones especiales.
- **Transporte marítimo a granel con arreglo de los instrumentos de la OMI:** No aplicable, productos envasados.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Asegre. (s.f.). *asegre.com*. Obtenido de asegre.com: <https://asegre.com/ler-listado-europeo-de-residuos-oficial/>
- [2]. Cañada, L. (s.f.). *Operaciones Básicas de Sólidos y Fluidos*.
- [3]. Central, J. U. (6 de Marzo de 2012). *Course Hero*. Obtenido de Course Hero: <https://www.coursehero.com/file/202195141/pdf-diseo-planta-de-acido-nitrico-compresspdf/>
- [4]. Centre, I. T. (s.f.). *Trade Map*. Obtenido de Trade Map: <https://www.trademap.org/>
- [5]. Dorado, J. B. (Octubre de 2022). *uvadoc.uva.es*. Obtenido de uvadoc.uva.es: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/56571/TFG-I-2418.pdf?sequence=1>
- [6]. Fernández, M. C. (s.f.). *Operaciones de Separación de fluidos*.
- [7]. Fisher, T. (s.f.). *www.fishersci.es*. Obtenido de [www.fishersci.es](https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10378433&lang=ES): https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10378433&lang=ES
- [8]. *Google Maps*. (s.f.). Obtenido de Google Maps: <https://www.google.es/maps/preview>
- [9]. Guillén, J. A. (2020). *d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net*. Obtenido de [d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/65236336/Proyecto_Industrial-libre.pdf?1608562651=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstudio_de_Factibilidad_Tecnico_Economic.pdf&Expires=1695223076&Signature=clDHjQQSwsja1DwaLv2lsYUbmueq91Z1FJOU6wkPh): https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/65236336/Proyecto_Industrial-libre.pdf?1608562651=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstudio_de_Factibilidad_Tecnico_Economic.pdf&Expires=1695223076&Signature=clDHjQQSwsja1DwaLv2lsYUbmueq91Z1FJOU6wkPh
- [10]. Intelligence, M. (s.f.). *Mordor Intelligence*. Obtenido de Mordor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/nitric-acid-market>
- [11]. Llagaria, A. M. (2016). *riunet.upv.es*. Obtenido de [riunet.upv.es](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73078/Mart%C3%AD%20Llagaria%20-%20Proyecto%20de%20almacenamiento%20de%20amoniac%20para%20una%20empresa%20situada%20en%20Sagunto%20%28Valencia%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y): <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73078/Mart%C3%AD%20Llagaria%20-%20Proyecto%20de%20almacenamiento%20de%20amoniac%20para%20una%20empresa%20situada%20en%20Sagunto%20%28Valencia%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [12]. Piñón, M. P. (s.f.). *Archivo Digital UPM*. Obtenido de Archivo Digital UPM: https://oa.upm.es/55961/1/TFG_MARINA_POZO_PINON.pdf
- [13]. Portillo, E. (s.f.). *Anexo I. Parámetros de cálculo de adquisiciones de equipos mediante correlaciones*.
- [14]. PRTR. (s.f.). *Gobierno de España*. Obtenido de Gobierno de España: <https://prtr-es.es/NH3-amoniac,15593,11,2007.html#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20gas,%C3%A1cidos%2C%20oxidantes%20fuertes%20y%20hal%C3%B3genos>
- [15]. Velázquez, D. (s.f.). *Tablas y Gráficos, Tecnología Energética*.

- [16].
quez, D. (s.f.). *Tecnología Energética, tema 1: Cambiadores de calor.* Veláz
- [17].
ueva, A. L. (s.f.). *Simulación y Optimización de Procesos Químicos.* Villan

10 ANEXO

A continuación, se muestra el código de EES empleado para realizar el Balance de Energía y el dimensionamiento de los equipos.

```
{ $DS, } "Los datos del BM se han obtenido de los resultados obtenidos del excel"
```

```
"Para la realización del BE, se debe de partir de los resultados obtenidos en el BM"
```

```
"Se debe de mencionar que F_ij es el caudal de las corrientes y Fj es la corriente total, i= componente, j= corriente"
```

```
{
```

```
i=1; NH3
```

```
i=2; O2
```

```
i=3; N2
```

```
i=4; Inertes
```

```
i=5; H2O
```

```
i=6; NO
```

```
i=7; NO2
```

```
i=8; N2O4
```

```
i=9; Fuel Oil
```

```
i=10; HNO3
```

```
}
```

```
"BALANCE DE MATERIA PRINCIPALES"
```

```
"CORRIENTE 1"
```

```
F_11=15762
```

```
F_21=0
```

```
F_31=0
```

```
F_41=0
```

```
F_51=0
```

```
F_61=0
```

```
F_71=0
```

```
F_81=0
```

$$F_{91}=0$$

$$F_{101}=0$$

$$F_1=F_{11}+F_{21}+F_{31}+F_{41}+F_{51}+F_{61}+F_{71}+F_{81}+F_{91}+F_{101}$$

"CORRIENTE 2"

$$F_{11}=F_{12}$$

$$F_{21}=F_{22}$$

$$F_{31}=F_{32}$$

$$F_{41}=F_{42}$$

$$F_{51}=F_{52}$$

$$F_{61}=F_{62}$$

$$F_{71}=F_{72}$$

$$F_{81}=F_{82}$$

$$F_{91}=F_{92}$$

$$F_{101}=F_{102}$$

$$F_2=F_{12}+F_{22}+F_{32}+F_{42}+F_{52}+F_{62}+F_{72}+F_{82}+F_{92}+F_{102}$$

"CORRIENTE 3"

$$F_{12}=F_{13}$$

$$F_{22}=F_{23}$$

$$F_{32}=F_{33}$$

$$F_{42}=F_{43}$$

$$F_{52}=F_{53}$$

$$F_{62}=F_{63}$$

$$F_{72}=F_{73}$$

$$F_{82}=F_{83}$$

$$F_{92}=F_{93}$$

$$F_{102}=F_{103}$$

$$F_3=F_{13}+F_{23}+F_{33}+F_{43}+F_{53}+F_{63}+F_{73}+F_{83}+F_{93}+F_{103}$$

"CORRIENTE 4"

$$F_{14}=F_{13}$$

$$F_{24}=57587$$

$$F_{34}=190037$$

$$F_{44}=3044$$

$$F_{54}=3019$$

$$F_{64}=0$$

$$F_{74}=0$$

$$F_{84}=0$$

$$F_{94}=0$$

$$F_{104}=0$$

$$F_4=F_{14}+F_{24}+F_{34}+F_{44}+F_{54}+F_{64}+F_{74}+F_{84}+F_{94}+F_{104}$$

"CORRIENTE 5"

$$F_{15}=0$$

$$F_{25}=21241$$

$$F_{35}=190686$$

$$F_{45}=3044$$

$$F_{55}=28053$$

$$F_{65}=26425$$

$$F_{75}=0$$

$$F_{85}=0$$

$$F_{95}=0$$

$$F_{105}=0$$

$$F_5=F_{15}+F_{25}+F_{35}+F_{45}+F_{55}+F_{65}+F_{75}+F_{85}+F_{95}+F_{105}$$

"CORRIENTE 6"

$$F_{16}=F_{15}$$

$$F_{26}=F_{25}$$

$$F_{36}=F_{35}$$

$$F_{46}=F_{45}$$

$$F_{56}=F_{55}$$

$$F_{66}=F_{65}$$

$$F_{76}=F_{75}$$

$$F_{86}=F_{85}$$

$$F_{96}=F_{95}$$

$$F_{106}=F_{105}$$

$$F6=F_{16}+F_{26}+F_{36}+F_{46}+F_{56}+F_{66}+F_{76}+F_{86}+F_{96}+F_{1026}$$

"CORRIENTE 7"

$$F_{17}=0$$

$$F_{27}=20818$$

$$F_{37}=190686$$

$$F_{47}=3044$$

$$F_{57}=28053$$

$$F_{67}=25632$$

$$F_{77}=1216$$

$$F_{87}=0$$

$$F_{97}=0$$

$$F_{107}=0$$

$$F7=F_{17}+F_{27}+F_{37}+F_{47}+F_{57}+F_{67}+F_{77}+F_{87}+F_{97}+F_{107}$$

"CORRIENTE 8"

$$F_{18}=0$$

$$F_{28}=19451$$

$$F_{38}=190686$$

$$F_{48}=3044$$

$$F_{58}=28053$$

$$F_{68}=23069$$

$$F_{78}=3087$$

$$F_{88}=2058$$

$$F_{98}=0$$

$$F_{108}=0$$

$$F8=F_{18}+F_{28}+F_{38}+F_{48}+F_{58}+F_{68}+F_{78}+F_{88}+F_{98}+F_{108}$$

"CORRIENTE 9"

$$F_{19}=0$$

$$F_{29}=15760$$

$$F_{39}=190686$$

$$F_{49}=3044$$

$F_{59}=28053$

$F_{69}=16148$

$F_{79}=6367$

$F_{89}=6303$

$F_{99}=0$

$F_{109}=0$

$F_9=F_{19}+F_{29}+F_{39}+F_{49}+F_{59}+F_{69}+F_{79}+F_{89}+F_{99}+F_{109}$

"CORRIENTE 10"

$F_{110}=0$

$F_{210}=1316$

$F_{310}=190686$

$F_{410}=3044$

$F_{510}=21131$

$F_{610}=601$

$F_{710}=647$

$F_{810}=485$

$F_{910}=0$

$F_{1010}=48452$

$F_{10}=F_{110}+F_{210}+F_{310}+F_{410}+F_{510}+F_{610}+F_{710}+F_{810}+F_{910}+F_{1010}$

"CORRIENTE 11"

$F_{111}=F_{110}$

$F_{211}=F_{210}$

$F_{311}=F_{310}$

$F_{411}=F_{410}$

$F_{511}=F_{510}$

$F_{611}=F_{610}$

$F_{711}=F_{710}$

$F_{811}=F_{810}$

$F_{911}=F_{910}$

$F_{1011}=F_{1010}$

$F_{11}=F_{111}+F_{211}+F_{311}+F_{411}+F_{511}+F_{611}+F_{711}+F_{811}+F_{911}+F_{1011}$

"CORRIENTE 12"

$F_{112}=0$

$F_{212}=910$

$F_{312}=171618$

$F_{412}=2740$

$F_{512}=33333$

$F_{612}=396$

$F_{712}=89$

$F_{812}=22$

$F_{912}=0$

$F_{1012}=50000$

$F_{12}=F_{112}+F_{212}+F_{312}+F_{412}+F_{512}+F_{612}+F_{712}+F_{812}+F_{912}+F_{1012}$

"CORRIENTE 13"

$F_{113}=F_{112}$

$F_{213}=F_{212}$

$F_{313}=F_{312}$

$F_{413}=F_{412}$

$F_{513}=F_{512}$

$F_{613}=F_{612}$

$F_{713}=F_{712}$

$F_{813}=F_{812}$

$F_{913}=F_{912}$

$F_{1013}=F_{1012}$

$F_{13}=F_{113}+F_{213}+F_{313}+F_{413}+F_{513}+F_{613}+F_{713}+F_{813}+F_{913}+F_{1013}$

"CORRIENTE 14"

$F_{114}=0$

$F_{214}=0$

$F_{314}=0$

$F_{414}=0$

$F_{514}=33333$

$F_{614}=0$

$F_{714}=0$

$F_{814}=0$

$F_{914}=0$

$F_{1014}=50000$

$F_{14}=F_{114}+F_{214}+F_{314}+F_{414}+F_{514}+F_{614}+F_{714}+F_{814}+F_{914}+F_{1014}$

"CORRIENTE 15"

$F_{115}=F_{114}$

$F_{215}=F_{214}$

$F_{315}=F_{314}$

$F_{415}=F_{414}$

$F_{515}=F_{514}$

$F_{615}=F_{614}$

$F_{715}=F_{714}$

$F_{815}=F_{814}$

$F_{915}=F_{914}$

$F_{1015}=F_{1014}$

$F_{15}=F_{115}+F_{215}+F_{315}+F_{415}+F_{515}+F_{615}+F_{715}+F_{815}+F_{915}+F_{1015}$

"CORRIENTE 16"

$F_{116}=0$

$F_{216}=13020$

$F_{316}=211929$

$F_{416}=3386$

$F_{516}=0$

$F_{616}=198$

$F_{716}=235$

$F_{816}=179$

$F_{916}=0$

$F_{1016}=0$

$F_{16}=F_{116}+F_{216}+F_{316}+F_{416}+F_{516}+F_{616}+F_{716}+F_{816}+F_{916}+F_{1016}$

"CORRIENTE 17"

$F_{117}=0$

$F_{217}=13015$

$F_{317}=211929$

$F_{417}=3386$

$F_{517}=0$

$F_{617}=188$

$F_{717}=13$

$F_{817}=417$

$F_{917}=0$

$F_{1017}=0$

$F_{17}=F_{117}+F_{217}+F_{317}+F_{417}+F_{517}+F_{617}+F_{717}+F_{817}+F_{917}+F_{1017}$

"CORRIENTE 18"

$F_{118}=0$

$F_{218}=13146$

$F_{318}=230997$

$F_{418}=3690$

$F_{518}=2113$

$F_{618}=248$

$F_{718}=77$

$F_{818}=465$

$F_{918}=0$

$F_{1018}=0$

$F_{18}=F_{118}+F_{218}+F_{318}+F_{418}+F_{518}+F_{618}+F_{718}+F_{818}+F_{918}+F_{1018}$

"CORRIENTE 19"

$F_{119}=F_{118}$

$F_{219}=F_{218}$

$F_{319}=F_{318}$

$F_{419}=F_{418}$

$F_{519}=F_{518}$

$F_{619}=F_{618}$

$F_{719}=F_{718}$

$F_{819}=F_{818}$

$F_{919}=F_{918}$

$F_{1019}=F_{1018}$

$F_{19}=F_{119}+F_{219}+F_{319}+F_{419}+F_{519}+F_{619}+F_{719}+F_{819}+F_{919}+F_{1019}$

"CORRIENTE 20"

$F_{120}=F_{119}$

$F_{220}=F_{219}$

$F_{320}=F_{319}$

$F_{420}=F_{419}$

$F_{520}=F_{519}$

$F_{620}=F_{619}$

$F_{720}=F_{719}$

$F_{820}=F_{819}$

$F_{920}=F_{919}$

$F_{1020}=F_{1019}$

$F_{20}=F_{120}+F_{220}+F_{320}+F_{420}+F_{520}+F_{620}+F_{720}+F_{820}+F_{920}+F_{1020}$

"CORRIENTE 21"

$F_{121}=F_{120}$

$F_{221}=F_{220}$

$F_{321}=F_{320}$

$F_{421}=F_{420}$

$F_{521}=F_{520}$

$F_{621}=F_{620}$

$F_{721}=F_{720}$

$F_{821}=F_{820}$

$F_{921}=F_{920}$

$F_{1021}=F_{1020}$

$F_{21}=F_{121}+F_{221}+F_{321}+F_{421}+F_{521}+F_{621}+F_{721}+F_{821}+F_{921}+F_{1021}$

"CORRIENTE 25"

$F_{125}=0$

$F_{225}=69803$

$F_{325}=230348$

$F_{425}=3690$

$F_{525}=3659$

$F_{625}=0$

$F_{725}=0$

$F_{825}=0$

$F_{925}=0$

$F_{1025}=0$

$F_{25}=F_{125}+F_{225}+F_{325}+F_{425}+F_{525}+F_{625}+F_{725}+F_{825}+F_{925}+F_{1025}$

"CORRIENTE 26"

$F_{126}=F_{125}$

$F_{226}=F_{225}$

$F_{326}=F_{325}$

$F_{426}=F_{425}$

$F_{526}=F_{525}$

$F_{626}=F_{625}$

$F_{726}=F_{725}$

$F_{826}=F_{825}$

$F_{926}=F_{925}$

$F_{1026}=F_{1025}$

$F_{26}=F_{126}+F_{226}+F_{326}+F_{426}+F_{526}+F_{626}+F_{726}+F_{826}+F_{926}+F_{1026}$

"CORRIENTE 27"

$F_{127}=0$

$F_{227}=34901$

$F_{327}=115174$

$F_{427}=1845$

$F_{527}=1830$

$F_{627}=0$

$F_{727}=0$

$F_{827}=0$

$F_{927}=0$

$F_{1027}=0$

$$F_{27}=F_{127}+F_{227}+F_{327}+F_{427}+F_{527}+F_{627}+F_{727}+F_{827}+F_{927}+F_{1027}$$

"CORRIENTE 28"

$$F_{128}=F_{127}$$

$$F_{228}=F_{227}$$

$$F_{328}=F_{327}$$

$$F_{428}=F_{427}$$

$$F_{528}=F_{527}$$

$$F_{628}=F_{627}$$

$$F_{728}=F_{727}$$

$$F_{828}=F_{827}$$

$$F_{928}=F_{927}$$

$$F_{1028}=F_{1027}$$

$$F_{28}=F_{128}+F_{228}+F_{328}+F_{428}+F_{528}+F_{628}+F_{728}+F_{828}+F_{928}+F_{1028}$$

"CORRIENTE 29"

$$F_{129}=0$$

$$F_{229}=69803$$

$$F_{329}=230348$$

$$F_{429}=3690$$

$$F_{529}=3659$$

$$F_{629}=0$$

$$F_{729}=0$$

$$F_{829}=0$$

$$F_{929}=0$$

$$F_{1029}=0$$

$$F_{29}=F_{129}+F_{229}+F_{329}+F_{429}+F_{529}+F_{629}+F_{729}+F_{829}+F_{929}+F_{1029}$$

"CORRIENTE 30"

$$F_{130}=F_{129}$$

$$F_{230}=F_{229}$$

$$F_{330}=F_{329}$$

$$F_{430}=F_{429}$$

$$F_{530}=F_{529}$$

$F_{630}=F_{629}$

$F_{730}=F_{729}$

$F_{830}=F_{829}$

$F_{930}=F_{929}$

$F_{1030}=F_{1029}$

$F_{30}=F_{130}+F_{230}+F_{330}+F_{430}+F_{530}+F_{630}+F_{730}+F_{830}+F_{930}+F_{1030}$

"CORRIENTE 31"

$F_{131}=0$

$F_{231}=34901$

$F_{331}=115174$

$F_{431}=1845$

$F_{531}=1830$

$F_{631}=0$

$F_{731}=0$

$F_{831}=0$

$F_{931}=0$

$F_{1031}=0$

$F_{31}=F_{131}+F_{231}+F_{331}+F_{431}+F_{531}+F_{631}+F_{731}+F_{831}+F_{931}+F_{1031}$

"CORRIENTE 32"

$F_{132}=F_{131}$

$F_{232}=F_{231}$

$F_{332}=F_{331}$

$F_{432}=F_{431}$

$F_{532}=F_{531}$

$F_{632}=F_{631}$

$F_{732}=F_{731}$

$F_{832}=F_{831}$

$F_{932}=F_{931}$

$F_{1032}=F_{1031}$

$F_{32}=F_{132}+F_{232}+F_{332}+F_{432}+F_{532}+F_{632}+F_{732}+F_{832}+F_{932}+F_{1032}$

"CORRIENTE 33"

$F_{133}=0$

$F_{233}=69803$

$F_{333}=230348$

$F_{433}=3690$

$F_{533}=3659$

$F_{633}=0$

$F_{733}=0$

$F_{833}=0$

$F_{933}=0$

$F_{1033}=0$

$F_{33}=F_{133}+F_{233}+F_{333}+F_{433}+F_{533}+F_{633}+F_{733}+F_{833}+F_{933}+F_{1033}$

"CORRIENTE 34"

$F_{134}=0$

$F_{234}=12215$

$F_{334}=40311$

$F_{434}=646$

$F_{534}=640$

$F_{634}=0$

$F_{734}=0$

$F_{834}=0$

$F_{934}=0$

$F_{1034}=0$

$F_{34}=F_{134}+F_{234}+F_{334}+F_{434}+F_{534}+F_{634}+F_{734}+F_{834}+F_{934}+F_{1034}$

"CORRIENTE 35"

$F_{135}=F_{134}$

$F_{235}=F_{234}$

$F_{335}=F_{334}$

$F_{435}=F_{434}$

$F_{535}=F_{534}$

$F_{635}=F_{634}$

$F_{735}=F_{734}$

$$F_{835}=F_{834}$$

$$F_{935}=F_{934}$$

$$F_{1035}=F_{1034}$$

$$F_{35}=F_{135}+F_{235}+F_{335}+F_{435}+F_{535}+F_{635}+F_{735}+F_{835}+F_{935}+F_{1035}$$

"CORRIENTE 36"

$$F_{136}=0$$

$$F_{236}=57587$$

$$F_{336}=190037$$

$$F_{436}=3044$$

$$F_{536}=3019$$

$$F_{636}=0$$

$$F_{736}=0$$

$$F_{836}=0$$

$$F_{936}=0$$

$$F_{1036}=0$$

$$F_{36}=F_{136}+F_{236}+F_{336}+F_{436}+F_{536}+F_{636}+F_{736}+F_{836}+F_{936}+F_{1036}$$

"CORRIENTE 37"

$$F_{137}=F_{136}$$

$$F_{237}=F_{236}$$

$$F_{337}=F_{336}$$

$$F_{437}=F_{436}$$

$$F_{537}=F_{536}$$

$$F_{637}=F_{636}$$

$$F_{737}=F_{736}$$

$$F_{837}=F_{836}$$

$$F_{937}=F_{936}$$

$$F_{1037}=F_{1036}$$

$$F_{37}=F_{137}+F_{237}+F_{337}+F_{437}+F_{537}+F_{637}+F_{737}+F_{837}+F_{937}+F_{1037}$$

"BALANCE DE ENERGÍA y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS"

$$T_{amb}=25[^\circ\text{C}]$$

$$P_{amb}=1[\text{bar}]$$

HF=8000[horas] "Horas de funcionamiento"

"Entalpía a condiciones ambientales de las sustancias"

$h_{amb1} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T_{amb}; P=P_{amb})$

$h_{amb2} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T_{amb}; P=P_{amb})$

$h_{amb3} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T_{amb}; P=P_{amb})$

$h_{amb5} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_{amb}; P=P_{amb})$

$h_{amb6} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T_{amb})$

$h_{amb7} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T_{amb})$

$h_{amb8} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T_{amb})$

$h_{amb10} = \text{Enthalpy}(\text{HNO}_3; T=T_{amb})$

"Entalpías de referencias de las sustancias"

$h_{ref1} = -80,3 \cdot 1000 / 17 [\text{kJ/kg}]$ "!" Cambio de unidades"

$h_{ref2} = 0 [\text{kJ/kg}]$

$h_{ref3} = 0 [\text{kJ/kg}]$

$h_{ref5} = -285,8 \cdot 1000 / 18 [\text{kJ/kg}]$ "!" Cambio de unidades"

$h_{ref6} = 91,3 \cdot 1000 / 30 [\text{kJ/kg}]$ "!" Cambio de unidades"

$h_{ref7} = 33,2 \cdot 1000 / 46 [\text{kJ/kg}]$

$h_{ref8} = 11,1 \cdot 1000 / 92 [\text{kJ/kg}]$

$h_{ref10} = -174 \cdot 1000 / 63 [\text{kJ/kg}]$

"P01"

$T1 = -33 [^\circ\text{C}]$

$P1 = 1 [\text{bar}]$

$\rho_{11} = \text{Density}(\text{Ammonia}; T=T1; P=P1)$

$F_{11} = Q_{11} \cdot \rho_{11}$

$Q_{11_def} = Q_{11} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$

$\Delta H_{P01} = (((P2 - P1) \cdot 100000) / \rho_{11}) + ((u_{sal_P01}^2 - u_{ent_P01}^2) / 2)$

$u_{sal_P01} = u_{ent_P01}$

$u_{ent_P01} = 1 [\text{m/s}]$

$\Delta H_{P01_def} = \Delta H_{P01} / 9,8$

$Pot_{P01} = (\rho_{11} \cdot 9,8 \cdot Q_{11_def} \cdot \Delta H_{P01_def}) / 1000$

$Pot_{P01_def} = Pot_{P01} / \text{rend}_{P01}$

rend_P01=0,75 [%]

"E01"

T2=-15[°C]

P2=12,40[bar]

rho_12=Density(Ammonia;T=T2;P=P2)

T3=177[°C]

P3=P2

T58=200[°C]

P58=10[bar]

T59=150[°C]

P58=P59

F_558=F_559

Q_E01=F_558*cp_5_5859*(T58-T59)

Q_E01_def=Q_E01*(365/(HF*3600))

cp_5_5859=Cp(Water;T=Tmed_5859;P=P58)

Tmed_5859=(T58+T59)/2

Q_E01=F_12*cp_1_23*(T3-T2)

cp_1_23=Cp(Ammonia;T=Tmed_23;P=P2)

Tmed_23=(T2+T3)/2

Q_E01_def*1000=A_E01*U_E01*(F_E01*DTLM_E01)

F_E01=0,97

R_E01=(T58-T59)/(T3-T2)

P_E01=(T3-T2)/(T58-T2)

DTLM_E01=((T58-T3)-(T59-T2))/LN((T58-T3)/(T59-T2))

U_E01=1/(((D_ext_E01/D_int_E01)*((1/h_int_E01)+Fs_int_E01))+1/h_ext_E01+Fs_ext_E01)

Fs_int_E01=0 [m2*K/W] "¡ Se desprecia"

Fs_ext_E01=0,002050 [m2*K/W] "¡ Tablas"

D_ext_E01/D_int_E01=1,134

Re_E01=(4*F2*(365/(HF*3600)))/(pi*D_int_E01*visc_E01*(N_tubos_E01/N_pasos_E01))

v_E01=22

visc_E01=Viscosity(Ammonia;T=T2;P=P2)

$Nu_{E01}=3,66$ "Regimen laminar"

$Pr_{E01}=(cp_{1_23}*visc_{E01}*1000)/k_{E01}$

$k_{E01}=Conductivity(Ammonia;T=T2;P=P2)$

$Nu_{E01}=h_{int_E01}*D_{int_E01}/k_{E01}$

$h_{ext_E01}=v_{E01}^{(0,55)}$ "Aproximación bastante buena"

$A_{carcasa_E01}=A_{E01}/N_{carcasa_E01}$

$N_{carcasa_E01}=2$

$A_{carcasa_E01}=\pi*D_{ext_E01}*L_{E01}*N_{tubos_E01}$

$D_{ext_E01}=0,0635$ [m]

$N_{pasos_E01}=4$

$N_{tubos_E01}=450$

"MX01"

$T37=262$ [°C]

$P37=P3$

$P4=P37$

$h_{237}=Enthalpy(Oxygen;T=T37;P=P37)$

$h_{337}=Enthalpy(Nitrogen;T=T37;P=P37)$

$h_{537}=Enthalpy(Water;T=T37;P=P37)$

$h_{13}=Enthalpy(Ammonia;T=T3;P=P3)$

$h_{14}=Enthalpy(Ammonia;T=T4;P=P4)$

$h_{24}=Enthalpy(Oxygen;T=T4;P=P4)$

$h_{34}=Enthalpy(Nitrogen;T=T4;P=P4)$

$h_{54}=Enthalpy(Water;T=T4;P=P4)$

$\Delta h_{237}=h_{237}-h_{amb2}-h_{ref2}$

$\Delta h_{337}=h_{337}-h_{amb3}-h_{ref3}$

$\Delta h_{537}=h_{537}-h_{amb5}-h_{ref5}$

$\Delta h_{13}=h_{13}-h_{amb1}-h_{ref1}$

$\Delta h_{14}=h_{14}-h_{amb1}-h_{ref1}$

$\Delta h_{24}=h_{24}-h_{amb2}-h_{ref2}$

$\Delta h_{34}=h_{34}-h_{amb3}-h_{ref3}$

$\Delta h_{54}=h_{54}-h_{amb5}-h_{ref5}$

$$F_{237} \cdot \Delta h_{237} + F_{337} \cdot \Delta h_{337} + F_{537} \cdot \Delta h_{537} + F_{13} \cdot \Delta h_{13} = Q_{MX01} + F_{24} \cdot \Delta h_{24} + F_{34} \cdot \Delta h_{34} + F_{54} \cdot \Delta h_{54} + F_{14} \cdot \Delta h_{14}$$

$$Q_{MX01_def} = Q_{MX01} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

$$Q_{MX01} = 0 \text{ "ADIABÁTICO"}$$

"Q_{MX01} se observa como es prácticamente 0 debido a las condiciones impuestas"

$$x_{14} = F_{14} / F_4$$

$$x_{24} = F_{24} / F_4$$

$$x_{34} = F_{34} / F_4$$

$$x_{44} = F_{44} / F_4$$

$$x_{54} = F_{54} / F_4$$

$$\rho_{14} = \text{Density}(\text{Ammonia}; T=T_4; P=P_4)$$

$$\rho_{24} = \text{Density}(\text{Oxygen}; T=T_4; P=P_4)$$

$$\rho_{34} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T_4; P=P_4)$$

$$\rho_{44} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T_4; P=P_4)$$

$$\rho_{54} = \text{Density}(\text{Water}; T=T_4; P=P_4)$$

$$\rho_{4_def} = x_{14} \cdot \rho_{14} + x_{24} \cdot \rho_{24} + x_{34} \cdot \rho_{34} + x_{44} \cdot \rho_{44} + x_{54} \cdot \rho_{54}$$

"R01"

$$T_{36} = T_{33}$$

$$P_{36} = P_{37}$$

$$P_{20} = 9,6 [\text{bar}]$$

$$T_{21} = 600 [^{\circ}\text{C}]$$

$$P_{21} = 9,5 [\text{bar}]$$

$$T_5 = 645 [^{\circ}\text{C}]$$

$$P_5 = 7,5 [\text{bar}]$$

$$h_{236} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T_{36}; P=P_{36})$$

$$h_{336} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T_{36}; P=P_{36})$$

$$h_{536} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_{36}; P=P_{36})$$

$$h_{120} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T_{20}; P=P_{20})$$

$$h_{220} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T_{20}; P=P_{20})$$

$$h_{320} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T_{20}; P=P_{20})$$

$$h_{520} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_{20}; P=P_{20})$$

$$h_{620} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T_{20})$$

$h_{720} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T20)$
 $h_{820} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T20)$
 $h_{14f} = h_{\text{ref}1} + h_{14} - h_{\text{amb}1}$
 $h_{24f} = h_{\text{ref}2} + h_{24} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{34f} = h_{\text{ref}3} + h_{34} - h_{\text{amb}3}$
 $h_{54f} = h_{\text{ref}5} + h_{54} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{236f} = h_{\text{ref}2} + h_{236} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{336f} = h_{\text{ref}3} + h_{336} - h_{\text{amb}3}$
 $h_{536f} = h_{\text{ref}5} + h_{536} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{120f} = h_{\text{ref}1} + h_{120} - h_{\text{amb}1}$
 $h_{220f} = h_{\text{ref}2} + h_{220} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{320f} = h_{\text{ref}3} + h_{320} - h_{\text{amb}3}$
 $h_{520f} = h_{\text{ref}5} + h_{520} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{620f} = h_{\text{ref}6} + h_{620} - h_{\text{amb}6}$
 $h_{720f} = h_{\text{ref}7} + h_{720} - h_{\text{amb}7}$
 $h_{820f} = h_{\text{ref}8} + h_{820} - h_{\text{amb}8}$
 $h_{15} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T5; P=P5)$
 $h_{25} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T5; P=P5)$
 $h_{35} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T5; P=P5)$
 $h_{55} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T5; P=P5)$
 $h_{65} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T5)$
 $h_{121} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T21; P=P21)$
 $h_{221} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T21; P=P21)$
 $h_{321} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T21; P=P21)$
 $h_{521} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T21; P=P21)$
 $h_{621} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T21)$
 $h_{721} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T21)$
 $h_{821} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T21)$
 $h_{15f} = h_{\text{ref}1} + h_{15} - h_{\text{amb}1}$
 $h_{25f} = h_{\text{ref}2} + h_{25} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{35f} = h_{\text{ref}3} + h_{35} - h_{\text{amb}3}$

$$h_{55f}=h_{ref5}+h_{55}-h_{amb5}$$

$$h_{65f}=h_{ref6}+h_{65}-h_{amb6}$$

$$h_{121f}=h_{ref1}+h_{121}-h_{amb1}$$

$$h_{221f}=h_{ref2}+h_{221}-h_{amb2}$$

$$h_{321f}=h_{ref3}+h_{321}-h_{amb3}$$

$$h_{521f}=h_{ref5}+h_{521}-h_{amb5}$$

$$h_{621f}=h_{ref6}+h_{621}-h_{amb6}$$

$$h_{721f}=h_{ref7}+h_{721}-h_{amb7}$$

$$h_{821f}=h_{ref8}+h_{821}-h_{amb8}$$

$$h_{237f}=h_{ref2}+h_{237}-h_{amb2}$$

$$h_{337f}=h_{ref3}+h_{337}-h_{amb3}$$

$$h_{537f}=h_{ref5}+h_{537}-h_{amb5}$$

$$F_{14}*h_{14f}+F_{24}*h_{24f}+F_{34}*h_{34f}+F_{54}*h_{54f}+F_{236}*h_{236f}+F_{336}*h_{336f}+F_{536}*h_{536f}+F_{120}*h_{120f}+F_{220}*h_{220f}+F_{320}*h_{320f}+F_{520}*h_{520f}+F_{620}*h_{620f}+F_{720}*h_{720f}+F_{820}*h_{820f}+Q_{R01}=F_{15}*h_{15f}+F_{25}*h_{25f}+F_{35}*h_{35f}+F_{55}*h_{55f}+F_{65}*h_{65f}+F_{237}*h_{237f}+F_{337}*h_{337f}+F_{537}*h_{537f}+F_{121}*h_{121f}+F_{221}*h_{221f}+F_{321}*h_{321f}+F_{521}*h_{521f}+F_{621}*h_{621f}+F_{721}*h_{721f}+F_{821}*h_{821f}$$

$$Q_{R01_def}=Q_{R01}*(365/(HF*3600))$$

"Cinética del reactor"

$$(r_{NH3})=(((-2,1*10^{(16)})*exp(10850/T5)*C_{NH3_0}*C_{O2_0}*(1-x_{conv})*(1-(5/4)*x_{conv})*((R_{ideal}*T5)^2))/(1+4*10^{(-5)}*exp(12750/T5)*C_{NH3_0}*(1-x_{conv})*R_{ideal}*T5))*10000$$

$$C_{NH3_0}=x_{15}*P4/(R_{gas}*T5)$$

$$C_{O2_0}=x_{25}*P4/(R_{gas}*T5)$$

$$x_{conv}=0,9$$

$$R_{ideal}=8,314 \text{ [J/mol*K]}$$

$$R_{gas}=0,000082 \text{ [bar*m}^3\text{/mol*K]}$$

$$SV_{R01}=2*10^{(5)} \text{ [h}^{(-1)}\text{]}$$

$$V_{lineal_R01}=4000 \text{ [m/h]}$$

$$Deltay_{R01}=V_{lineal_R01}/SV_{R01}$$

$$V_{R01}=Caudal_{R01_def}/SV_{R01}$$

$$F4=Caudal_{R01}*rho_{R01}$$

$$rho_{R01}=x_{14}*rho_{14}+x_{24}*rho_{24}+x_{34}*rho_{34}+x_{44}*rho_{44}+x_{54}*rho_{54}$$

$$\text{Caudal_R01_def}=\text{Caudal_R01}*365/\text{HF}$$

$$\text{V_R01}=(\pi*\text{D_R01}^2*\text{Deltay_R01})/4$$

$$\text{V_R01_def}=((\text{D_R01}^2*\pi)/4)*\text{H_R01}$$

$$\text{H_R01}=4+\text{Deltay_R01}$$

"F01"

$$\text{T6}=\text{T5}$$

$$\text{P6}=\text{P5}$$

$$\text{delta_h_15}=\text{h_15}-\text{h_amb1}-\text{h_ref1}$$

$$\text{delta_h_25}=\text{h_25}-\text{h_amb2}-\text{h_ref2}$$

$$\text{delta_h_35}=\text{h_35}-\text{h_amb3}-\text{h_ref3}$$

$$\text{delta_h_55}=\text{h_55}-\text{h_amb5}-\text{h_ref5}$$

$$\text{delta_h_65}=\text{h_65}-\text{h_amb6}-\text{h_ref6}$$

$$\text{h_16}=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};\text{T}=\text{T6};\text{P}=\text{P6})$$

$$\text{h_26}=\text{Enthalpy}(\text{Oxygen};\text{T}=\text{T6};\text{P}=\text{P6})$$

$$\text{h_36}=\text{Enthalpy}(\text{Nitrogen};\text{T}=\text{T6};\text{P}=\text{P6})$$

$$\text{h_56}=\text{Enthalpy}(\text{Water};\text{T}=\text{T6};\text{P}=\text{P6})$$

$$\text{h_66}=\text{Enthalpy}(\text{NO};\text{T}=\text{T6})$$

$$\text{delta_h_16}=\text{h_16}-\text{h_amb1}-\text{h_ref1}$$

$$\text{delta_h_26}=\text{h_26}-\text{h_amb2}-\text{h_ref2}$$

$$\text{delta_h_36}=\text{h_36}-\text{h_amb3}-\text{h_ref3}$$

$$\text{delta_h_56}=\text{h_56}-\text{h_amb5}-\text{h_ref5}$$

$$\text{delta_h_66}=\text{h_66}-\text{h_amb6}-\text{h_ref6}$$

$$\text{F_15}*\text{delta_h_15}+\text{F_25}*\text{delta_h_25}+\text{F_35}*\text{delta_h_35}+\text{F_55}*\text{delta_h_55}+\text{F_65}*\text{delta_h_65}=\text{Q_F01}+\text{F_16}*\text{delta_h_16}+\text{F_26}*\text{delta_h_26}+\text{F_36}*\text{delta_h_36}+\text{F_56}*\text{delta_h_56}+\text{F_66}*\text{delta_h_66}$$

$$\text{Q_F01_def}=\text{Q_F01}*(365/(\text{HF}*3600))$$

"Q_F01 se observa como es prácticamente 0 debido a las condiciones impuestas"

$$\text{F5}*(365/(\text{HF}*3600))=\text{Q_5_F01}*\text{rho_med_F01}$$

$$\text{x_15}=\text{F_15}/\text{F5}$$

$$\text{x_25}=\text{F_25}/\text{F5}$$

$$\text{x_35}=\text{F_35}/\text{F5}$$

$$\text{x_45}=\text{F_45}/\text{F5}$$

$$\text{x_55}=\text{F_55}/\text{F5}$$

$\rho_{O2_F01} = \text{Density}(\text{Oxygen}; T=T5; P=P5)$

$\rho_{N2_F01} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T5; P=P5)$

$\rho_{\text{Inertes_F01}} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T5; P=P5)$

$\rho_{H2O_F01} = \text{Density}(\text{Water}; T=T5; P=P5)$

$\rho_{NH3_F01} = \text{Density}(\text{Ammonia}; T=T5; P=P5)$

$\rho_{med_F01} = x_{15} \cdot \rho_{NH3_F01} + x_{25} \cdot \rho_{O2_F01} + x_{35} \cdot \rho_{N2_F01} + x_{45} \cdot \rho_{\text{Inertes_F01}} + x_{55} \cdot \rho_{H2O_F01}$

$V_{g_F01} = Q_{5_F01} \cdot ((273 + T5) / 273)$

$A_{F01} = V_{g_F01} / w_{F01}$

$w_{F01} = 0,015 \text{ [m/s]}$

$D_{m_F01} = 0,4 \text{ [m]}$

$L_{m_F01} = 1 \text{ [m]}$

$A_{m_F01} = \pi \cdot D_{m_F01} \cdot L_{m_F01}$

$N_{m_F01} = A_{F01} / A_{m_F01}$

$N_{m_def_F01} = \text{round}(N_{m_F01})$

"F02"

$T25 = 35 \text{ [°C]}$

$P25 = 1 \text{ [bar]}$

$T26 = T25$

$P26 = P25$

$h_{225} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T25; P=P25)$

$h_{325} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T25; P=P25)$

$h_{525} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T25; P=P25)$

$h_{226} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T26; P=P26)$

$h_{326} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T26; P=P26)$

$h_{526} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T26; P=P26)$

$\Delta h_{225} = h_{225} - h_{amb2} - h_{ref2}$

$\Delta h_{325} = h_{325} - h_{amb3} - h_{ref3}$

$\Delta h_{525} = h_{525} - h_{amb5} - h_{ref5}$

$\Delta h_{226} = h_{226} - h_{amb2} - h_{ref2}$

$\Delta h_{326} = h_{326} - h_{amb3} - h_{ref3}$

$\Delta h_{526} = h_{526} - h_{amb5} - h_{ref5}$

$$F_{225} \cdot \Delta h_{225} + F_{325} \cdot \Delta h_{325} + F_{525} \cdot \Delta h_{525} = Q_{F02} + F_{226} \cdot \Delta h_{226} + F_{326} \cdot \Delta h_{326} + F_{526} \cdot \Delta h_{526}$$

$$Q_{F02_def} = Q_{F02} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

"Q_F02 se observa como es prácticamente 0 debido a las condiciones impuestas"

$$F_{25} \cdot (365 / (HF \cdot 3600)) = Q_{25_F02} \cdot \rho_{med_F02}$$

$$\rho_{med_F02} = \text{Density}(\text{Air_ha}; T=T_{25}; P=P_{25})$$

$$V_{g_F02} = Q_{25_F02} \cdot ((273 + T_{25}) / 273)$$

$$A_{F02} = V_{g_F02} / w_{F02}$$

$$w_{F02} = 0,015 \text{ [m/s]}$$

$$D_{m_F02} = 0,4 \text{ [m]}$$

$$L_{m_F02} = 1 \text{ [m]}$$

$$A_{m_F02} = \pi \cdot D_{m_F02} \cdot L_{m_F02}$$

$$N_{m_F02} = A_{F02} / A_{m_F02}$$

$$N_{m_def_F02} = \text{round}(N_{m_F02}) + 1$$

"C01"

$$\text{rend_is_C01} = 0,8$$

$$\text{rend_is_C01} = (H_{total_29s} - H_{total_26}) / (H_{total_29} - H_{total_26})$$

$$H_{total_29} = \text{Enthalpy}(\text{Air_ha}; T=T_{29}; P=P_{29})$$

$$H_{total_26} = \text{Enthalpy}(\text{Air_ha}; T=T_{26}; P=P_{26})$$

$$s_{29s} = s_{26}$$

$$s_{26} = \text{Entropy}(\text{Air_ha}; T=T_{26}; P=P_{26})$$

$$H_{total_29s} = \text{Enthalpy}(\text{Air_ha}; s=s_{29s}; P=P_{29})$$

$$W_{C01} = F_{29} \cdot (H_{total_29} - H_{total_26}) \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

$$\rho_{aire_C01_ent} = \text{Density}(\text{Air_ha}; T=T_{26}; P=P_{26})$$

$$\rho_{aire_C01_sal} = \text{Density}(\text{Air_ha}; T=T_{29}; P=P_{29})$$

"E02"

$$P_{30} = P_{29}$$

$$T_{30} = 45 [^{\circ}\text{C}]$$

$$Q_{E02} = -F_{29} \cdot (H_{total_30} - H_{total_29})$$

$$Q_{E02} = m_{agua_refrig_E02} \cdot (H_{refrig_E02_sal} - H_{refrig_E02_ent})$$

$$Q_{E02_def} = Q_{E02} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

$$T_{refrig_E02_sal} = 100 [^{\circ}\text{C}]$$

$T_{\text{refrig_E02_ent}}=25 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$

$P_{\text{refrig_E02_sal}}=P_{\text{refrig_E02_ent}}$

$P_{\text{refrig_E02_sal}}=1 \text{ [bar]}$

$H_{\text{refrig_E02_sal}}=\text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_{\text{refrig_E02_sal}}; P=P_{\text{refrig_E02_sal}})$

$H_{\text{refrig_E02_ent}}=\text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T_{\text{refrig_E02_ent}}; P=P_{\text{refrig_E02_ent}})$

$Q_{\text{E02_def}}*1000=A_{\text{E02}}*U_{\text{E02}}*(F_{\text{E02}}*DTLM_{\text{E02}})$

$F_{\text{E02}}=1$

$R_{\text{E02}}=(T_{29}-T_{30})/(T_{\text{refrig_E02_sal}}-T_{\text{refrig_E02_ent}})$

$P_{\text{E02}}=(T_{\text{refrig_E02_sal}}-T_{\text{refrig_E02_ent}})/(T_{29}-T_{\text{refrig_E02_ent}})$

$DTLM_{\text{E02}}=((T_{29}-T_{\text{refrig_E02_sal}})-(T_{30}-T_{\text{refrig_E02_ent}}))/\text{LN}((T_{29}-T_{\text{refrig_E02_sal}})/(T_{30}-T_{\text{refrig_E02_ent}}))$

$U_{\text{E02}}=1/(((D_{\text{ext_E02}}/D_{\text{int_E02}})*((1/h_{\text{int_E02}})+F_{s_int_E02}))+1/h_{\text{ext_E02}}+F_{s_ext_E02})$

$F_{s_int_E02}=0 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$ "¡ Se desprecia"

$F_{s_ext_E02}=0,002050 \text{ [m}^2\text{*K/W]}$ "¡ Tablas"

$D_{\text{ext_E02}}/D_{\text{int_E02}}=1,134$

$D_{\text{ext_E02}}=0,0635 \text{ [m]}$

$Re_{\text{E02}}=(4*F_{29}*(365/(HF*3600)))/(\pi*D_{\text{int_E02}}*visc_{\text{E02}}*(N_{\text{tubos_E02}}/N_{\text{pasos_E02}}))$

$v_{\text{E02}}=22$

$visc_{\text{E02}}=\text{Viscosity}(\text{Air_ha}; T=T_{29}; P=P_{29})$

$Nu_{\text{E02}}=0,023*Re_{\text{E02}}^{(4/5)}*Pr_{\text{E02}}^{(n_{\text{E02}})}$ "Régimen turbulento"

$n_{\text{E02}}=0,4$

$Pr_{\text{E02}}=(cp_{\text{E02}}*visc_{\text{E02}}*1000)/k_{\text{E02}}$

$k_{\text{E02}}=\text{Conductivity}(\text{Air_ha}; T=T_{29}; P=P_{29})$

$cp_{\text{E02}}=\text{Cp}(\text{Air_ha}; T=T_{29}; P=P_{29})$

$Nu_{\text{E02}}=h_{\text{int_E02}}*D_{\text{int_E02}}/k_{\text{E02}}$

$h_{\text{ext_E02}}=v_{\text{E02}}^{(0,55)}$ "¡ Aproximación bastante buena"

$A_{\text{carcasa_E02}}=A_{\text{E02}}/N_{\text{carcasa_E02}}$

$A_{\text{carcasa_E02}}=\pi*D_{\text{ext_E02}}*L_{\text{E02}}*N_{\text{tubos_E02}}$

$N_{\text{carcasa_E02}}=6$ "Gráfica 4.1.6"

$N_{\text{pasos_E02}}=4$

$N_{\text{tubos_E02}}=1000$

"C02"

$P_{33}=P_{36}$
 $rend_is_C02=0,8$
 $rend_is_C02=(H_total_33s-H_total_30)/(H_total_33-H_total_30)$
 $H_total_33=Enthalpy(Air_ha;T=T_{33};P=P_{33})$
 $H_total_30=Enthalpy(Air_ha;T=T_{30};P=P_{30})$
 $s_{33s}=s_{30}$
 $s_{30}=Entropy(Air_ha;T=T_{30};P=P_{30})$
 $H_total_33s=Enthalpy(Air_ha;s=s_{33s};P=P_{33})$
 $W_C02=F_{33}*(H_total_33-H_total_30)*(365/(HF*3600))$
 $P_{29}/P_{26}=P_{33}/P_{30}$
 $\rho_{aire_C02_ent}=Density(Air_ha;T=T_{30};P=P_{30})$
 $\rho_{aire_C02_sal}=Density(Air_ha;T=T_{33};P=P_{33})$

"E03"

$T_7=596[^\circ C]$
 $P_7=P_6$
 $T_{61}=250[^\circ C]$
 $P_{61}=40[bar]$
 $P_{61}=P_{62}$
 $F_{561}=F_{558}$
 $F_{562}=F_{561}$
 $h_{16f}=h_{ref1}+h_{16}-h_{amb1}$
 $h_{26f}=h_{ref2}+h_{26}-h_{amb2}$
 $h_{36f}=h_{ref3}+h_{36}-h_{amb3}$
 $h_{56f}=h_{ref5}+h_{56}-h_{amb5}$
 $h_{66f}=h_{ref6}+h_{66}-h_{amb6}$
 $h_{561}=Enthalpy(Water;T=T_{61};P=P_{61})$
 $h_{561f}=h_{ref5}+h_{561}-h_{amb5}$
 $h_{17}=Enthalpy(Ammonia;T=T_7;P=P_7)$
 $h_{27}=Enthalpy(Oxygen;T=T_7;P=P_7)$
 $h_{37}=Enthalpy(Nitrogen;T=T_7;P=P_7)$
 $h_{57}=Enthalpy(Water;T=T_7;P=P_7)$

$$h_{67} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T = T7)$$

$$h_{77} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T = T7)$$

$$h_{562} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = T62; P = P62)$$

$$h_{17f} = h_{\text{ref}1} + h_{17} - h_{\text{amb}1}$$

$$h_{27f} = h_{\text{ref}2} + h_{27} - h_{\text{amb}2}$$

$$h_{37f} = h_{\text{ref}3} + h_{37} - h_{\text{amb}3}$$

$$h_{57f} = h_{\text{ref}5} + h_{57} - h_{\text{amb}5}$$

$$h_{67f} = h_{\text{ref}6} + h_{67} - h_{\text{amb}6}$$

$$h_{77f} = h_{\text{ref}7} + h_{67} - h_{\text{amb}7}$$

$$h_{562f} = h_{\text{ref}5} + h_{562} - h_{\text{amb}5}$$

$$F_{16} \cdot h_{16f} + F_{26} \cdot h_{26f} + F_{36} \cdot h_{36f} + F_{56} \cdot h_{56f} + F_{66} \cdot h_{66f} - \\ Q_{E03} = F_{17} \cdot h_{17f} + F_{27} \cdot h_{27f} + F_{37} \cdot h_{37f} + F_{57} \cdot h_{57f} + F_{67} \cdot h_{67f} + F_{77} \cdot h_{77f}$$

$$Q_{E03} = F_{561} \cdot c_{p_5_6162} \cdot (T62 - T61)$$

$$c_{p_5_61} = \text{Cp}(\text{Water}; T = T61; P = P61)$$

$$c_{p_5_62} = \text{Cp}(\text{Water}; T = T62; P = P62)$$

$$c_{p_5_6162} = (c_{p_5_61} + c_{p_5_62}) / 2$$

$$Q_{E03_def} = Q_{E03} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

$$Q_{E03_def} \cdot 1000 = A_{E03} \cdot U_{E03} \cdot (F_{E03} \cdot DTLM_{E03})$$

$$F_{E03} = 0,97$$

$$R_{E03} = (T6 - T7) / (T62 - T61)$$

$$P_{E03} = (T62 - T61) / (T6 - T61)$$

$$DTLM_{E03} = ((T6 - T62) - (T7 - T61)) / \ln((T6 - T62) / (T7 - T61))$$

$$U_{E03} = 1 / (((D_{\text{ext_E03}} / D_{\text{int_E03}}) \cdot ((1 / h_{\text{int_E03}}) + F_{s_int_E03})) + 1 / h_{\text{ext_E03}} + F_{s_ext_E03})$$

$$F_{s_int_E03} = 0 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]} \text{ "¡ Se desprecia"}$$

$$F_{s_ext_E03} = 0,002050 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]} \text{ "¡ Tablas"}$$

$$D_{\text{ext_E03}} / D_{\text{int_E03}} = 1,556$$

$$Re_{E03} = (4 \cdot F6 \cdot (365 / (HF \cdot 3600))) / (\pi \cdot D_{\text{int_E03}} \cdot \text{visc}_{E03} \cdot (N_{\text{tubos_E03}} / N_{\text{pasos_E03}}))$$

$$v_{E03} = 22$$

$$x_{16} = F_{16} / F6$$

$$x_{26} = F_{26} / F6$$

$$x_{36} = F_{36} / F6$$

$$x_{46} = F_{46} / F6$$

$$x_{56}=F_{56}/F_6$$

$$x_{66}=F_{66}/F_6$$

$$\text{visc}_{16}=\text{Viscosity}(\text{Ammonia};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{visc}_{26}=\text{Viscosity}(\text{Oxygen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{visc}_{36}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{visc}_{46}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{visc}_{56}=\text{Viscosity}(\text{Water};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{visc}_{66}=\text{Viscosity}(\text{NO};T=T_6)$$

$$\text{visc}_{E03}=x_{16}*\text{visc}_{16}+x_{26}*\text{visc}_{26}+x_{36}*\text{visc}_{36}+x_{46}*\text{visc}_{46}+x_{56}*\text{visc}_{56}+x_{66}*\text{visc}_{66}$$

$$\text{Nu}_{E03}=0,023*\text{Re}_{E03}^{(4/5)}*\text{Pr}_{E03}^{(n_{E03})}$$

$$n_{E03}=0,4$$

$$\text{Pr}_{E03}=(\text{cp}_{E03}*\text{visc}_{E03}*1000)/k_{E03}$$

$$\text{cp}_{16}=\text{Cp}(\text{Ammonia};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{cp}_{26}=\text{Cp}(\text{Oxygen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{cp}_{36}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{cp}_{46}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{cp}_{56}=\text{Cp}(\text{Water};T=T_6;P=P_6)$$

$$\text{cp}_{66}=\text{Cp}(\text{NO};T=T_6)$$

$$\text{cp}_{E03}=x_{16}*\text{cp}_{16}+x_{26}*\text{cp}_{26}+x_{36}*\text{cp}_{36}+x_{46}*\text{cp}_{46}+x_{56}*\text{cp}_{56}+x_{66}*\text{cp}_{66}$$

$$k_{16}=\text{Conductivity}(\text{Ammonia};T=T_6;P=P_6)$$

$$k_{26}=\text{Conductivity}(\text{Oxygen};T=T_6;P=P_6)$$

$$k_{36}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$k_{46}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T_6;P=P_6)$$

$$k_{56}=\text{Conductivity}(\text{Water};T=T_6;P=P_6)$$

$$k_{66}=\text{Conductivity}(\text{NO};T=T_6)$$

$$k_{E03}=x_{16}*k_{16}+x_{26}*k_{26}+x_{36}*k_{36}+x_{46}*k_{46}+x_{56}*k_{56}+x_{66}*k_{66}$$

$$\text{Nu}_{E03}=h_{\text{int}_{E03}}*D_{\text{int}_{E03}}/k_{E03}$$

$$h_{\text{ext}_{E03}}=v_{E03}^{(0,55)} \text{ "Aproximación bastante buena"}$$

$$A_{\text{carcasa}_{E03}}=A_{E03}/N_{\text{carcasa}_{E03}}$$

$$N_{\text{carcasa}_{E03}}=1$$

$$A_{\text{carcasa}_{E03}}=\pi*D_{\text{ext}_{E03}}*L_{E03}*N_{\text{tubos}_{E03}}$$

$D_{\text{ext_E03}}=0,0635 \text{ [m]}$

$N_{\text{pasos_E03}}=4$

$N_{\text{tubos_E03}}=450$

"E04"

$T8=300[^\circ\text{C}]$

$P8=P7$

$T63=T61$

$P63=P61$

$P64=P63$

$T64=T62$

$F_{564}=F_{563}$

$h_{563}=\text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T63; P=P63)$

$h_{563f}=h_{\text{ref5}}+h_{563}-h_{\text{amb5}}$

$h_{18}=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T8; P=P8)$

$h_{28}=\text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T8; P=P8)$

$h_{38}=\text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T8; P=P8)$

$h_{58}=\text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T8; P=P8)$

$h_{68}=\text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T8)$

$h_{78}=\text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T8)$

$h_{88}=\text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T8)$

$h_{564}=\text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T64; P=P64)$

$h_{18f}=h_{\text{ref1}}+h_{18}-h_{\text{amb1}}$

$h_{28f}=h_{\text{ref2}}+h_{28}-h_{\text{amb2}}$

$h_{38f}=h_{\text{ref3}}+h_{38}-h_{\text{amb3}}$

$h_{58f}=h_{\text{ref5}}+h_{58}-h_{\text{amb5}}$

$h_{68f}=h_{\text{ref6}}+h_{68}-h_{\text{amb6}}$

$h_{78f}=h_{\text{ref7}}+h_{78}-h_{\text{amb7}}$

$h_{88f}=h_{\text{ref8}}+h_{88}-h_{\text{amb8}}$

$h_{564f}=h_{\text{ref5}}+h_{564}-h_{\text{amb5}}$

$F_{17}*h_{17f}+F_{27}*h_{27f}+F_{37}*h_{37f}+F_{57}*h_{57f}+F_{67}*h_{67f}+F_{77}*h_{77f}-$

$Q_{\text{E04}}=F_{18}*h_{18f}+F_{28}*h_{28f}+F_{38}*h_{38f}+F_{58}*h_{58f}+F_{68}*h_{68f}+F_{78}*h_{78f}+F_{88}*h_{88f}$

$Q_{E04} = F_{563} * cp_{5_6364} * (T_{64} - T_{63})$
 $cp_{5_63} = Cp(\text{Water}; T = T_{63}; P = P_{63})$
 $cp_{5_64} = Cp(\text{Water}; T = T_{64}; P = P_{64})$
 $cp_{5_6364} = (cp_{5_63} + cp_{5_64}) / 2$
 $Q_{E04_def} = Q_{E04} * (365 / (HF * 3600))$
 $Q_{E04_def} * 1000 = A_{E04} * U_{E04} * (F_{E04} * DTLM_{E04})$
 $F_{E04} = 1$
 $R_{E04} = (T_7 - T_8) / (T_{64} - T_{63})$
 $P_{E04} = (T_{64} - T_{63}) / (T_7 - T_{63})$
 $DTLM_{E04} = ((T_7 - T_{64}) - (T_8 - T_{63})) / \ln((T_7 - T_{64}) / (T_8 - T_{63}))$
 $U_{E04} = 1 / (((D_{ext_E04} / D_{int_E04}) * ((1/h_{int_E04}) + Fs_{int_E04})) + 1/h_{ext_E04} + Fs_{ext_E04})$
 $Fs_{int_E04} = 0 \text{ [m}^2 * \text{K/W] "¡ Se desprecia"}$
 $Fs_{ext_E04} = 0,002050 \text{ [m}^2 * \text{K/W] "¡ Tablas"}$
 $D_{ext_E04} / D_{int_E04} = 1,556$
 $Re_{E04} = (4 * F_7 * (365 / (HF * 3600))) / (\pi * D_{int_E04} * visc_{E04} * (N_{tubos_E04} / N_{pasos_E04}))$
 $v_{E04} = 22$
 $x_{17} = F_{17} / F_7$
 $x_{27} = F_{27} / F_7$
 $x_{37} = F_{37} / F_7$
 $x_{47} = F_{47} / F_7$
 $x_{57} = F_{57} / F_7$
 $x_{67} = F_{67} / F_7$
 $x_{77} = F_{77} / F_7$
 $x_{87} = F_{87} / F_7$
 $visc_{17} = \text{Viscosity}(\text{Ammonia}; T = T_7; P = P_7)$
 $visc_{27} = \text{Viscosity}(\text{Oxygen}; T = T_7; P = P_7)$
 $visc_{37} = \text{Viscosity}(\text{Nitrogen}; T = T_7; P = P_7)$
 $visc_{47} = \text{Viscosity}(\text{Nitrogen}; T = T_7; P = P_7)$
 $visc_{57} = \text{Viscosity}(\text{Water}; T = T_7; P = P_7)$
 $visc_{67} = \text{Viscosity}(\text{NO}; T = T_7)$
 $visc_{77} = \text{Viscosity}(\text{NO}_2; T = T_7)$

$\text{visc}_{87} = \text{Viscosity}(\text{NO}_2; T=T_7)$

$\text{visc}_{E04} = x_{17} \cdot \text{visc}_{17} + x_{27} \cdot \text{visc}_{27} + x_{37} \cdot \text{visc}_{37} + x_{47} \cdot \text{visc}_{47} + x_{57} \cdot \text{visc}_{57} + x_{67} \cdot \text{visc}_{67} + x_{77} \cdot \text{visc}_{77} + x_{87} \cdot \text{visc}_{87}$

$\text{Nu}_{E04} = 0,023 \cdot \text{Re}_{E04}^{(4/5)} \cdot \text{Pr}_{E04}^{(n_{E04})}$

$n_{E04} = 0,4$

$\text{Pr}_{E04} = (\text{cp}_{E04} \cdot \text{visc}_{E04} \cdot 1000) / k_{E04}$

$\text{cp}_{17} = \text{Cp}(\text{Ammonia}; T=T_7; P=P_7)$

$\text{cp}_{27} = \text{Cp}(\text{Oxygen}; T=T_7; P=P_7)$

$\text{cp}_{37} = \text{Cp}(\text{Nitrogen}; T=T_7; P=P_7)$

$\text{cp}_{47} = \text{Cp}(\text{Nitrogen}; T=T_7; P=P_7)$

$\text{cp}_{57} = \text{Cp}(\text{Water}; T=T_7; P=P_7)$

$\text{cp}_{67} = \text{Cp}(\text{NO}; T=T_7)$

$\text{cp}_{77} = \text{Cp}(\text{NO}_2; T=T_7)$

$\text{cp}_{87} = \text{Cp}(\text{NO}_2; T=T_7)$

$\text{cp}_{E04} = x_{17} \cdot \text{cp}_{17} + x_{27} \cdot \text{cp}_{27} + x_{37} \cdot \text{cp}_{37} + x_{47} \cdot \text{cp}_{47} + x_{57} \cdot \text{cp}_{57} + x_{67} \cdot \text{cp}_{67} + x_{77} \cdot \text{cp}_{77} + x_{87} \cdot \text{cp}_{87}$

$k_{17} = \text{Conductivity}(\text{Ammonia}; T=T_7; P=P_7)$

$k_{27} = \text{Conductivity}(\text{Oxygen}; T=T_7; P=P_7)$

$k_{37} = \text{Conductivity}(\text{Nitrogen}; T=T_7; P=P_7)$

$k_{47} = \text{Conductivity}(\text{Nitrogen}; T=T_7; P=P_7)$

$k_{57} = \text{Conductivity}(\text{Water}; T=T_7; P=P_7)$

$k_{67} = \text{Conductivity}(\text{NO}; T=T_7)$

$k_{77} = \text{Conductivity}(\text{NO}_2; T=T_7)$

$k_{87} = \text{Conductivity}(\text{NO}_2; T=T_7)$

$k_{E04} = x_{17} \cdot k_{17} + x_{27} \cdot k_{27} + x_{37} \cdot k_{37} + x_{47} \cdot k_{47} + x_{57} \cdot k_{57} + x_{67} \cdot k_{67} + x_{77} \cdot k_{77} + x_{87} \cdot k_{87}$

$\text{Nu}_{E04} = h_{\text{int}_{E04}} \cdot D_{\text{int}_{E04}} / k_{E04}$

$h_{\text{ext}_{E04}} = v_{E04}^{(0,55)}$ "Aproximación bastante buena"

$A_{\text{carcasa}_{E04}} = A_{E04} / N_{\text{carcasa}_{E04}}$

$N_{\text{carcasa}_{E04}} = 6$

$A_{\text{carcasa}_{E04}} = \pi \cdot D_{\text{ext}_{E04}} \cdot L_{E04} \cdot N_{\text{tubos}_{E04}}$

$D_{\text{ext}_{E04}} = 0,0635 \text{ [m]}$

N_pasos_E04=4

N_tubos_E04=1000

"E05"

T9=220[°C]

P9=P8

T19=50[°C]

P20=P19

h_19=Enthalpy(Ammonia;T=T9;P=P9)

h_29=Enthalpy(Oxygen;T=T9;P=P9)

h_39=Enthalpy(Nitrogen;T=T9;P=P9)

h_59=Enthalpy(Water;T=T9;P=P9)

h_69=Enthalpy(NO;T=T9)

h_79=Enthalpy(NO2;T=T9)

h_89=Enthalpy(N2O4;T=T9)

h_119=Enthalpy(Ammonia;T=T19;P=P19)

h_219=Enthalpy(Oxygen;T=T19;P=P19)

h_319=Enthalpy(Nitrogen;T=T19;P=P19)

h_519=Enthalpy(Water;T=T19;P=P19)

h_619=Enthalpy(NO;T=T19)

h_719=Enthalpy(NO2;T=T19)

h_819=Enthalpy(N2O4;T=T19)

h_19f=h_ref1+h_19-h_amb1

h_29f=h_ref2+h_29-h_amb2

h_39f=h_ref3+h_39-h_amb3

h_59f=h_ref5+h_59-h_amb5

h_69f=h_ref6+h_69-h_amb6

h_79f=h_ref7+h_79-h_amb7

h_89f=h_ref8+h_89-h_amb8

h_119f=h_ref1+h_119-h_amb1

h_219f=h_ref2+h_219-h_amb2

h_319f=h_ref3+h_319-h_amb3

$$h_{519f}=h_{ref5}+h_{519}-h_{amb5}$$

$$h_{619f}=h_{ref6}+h_{619}-h_{amb6}$$

$$h_{719f}=h_{ref7}+h_{719}-h_{amb7}$$

$$h_{819f}=h_{ref8}+h_{819}-h_{amb8}$$

$$F_{18}*h_{18f}+F_{28}*h_{28f}+F_{38}*h_{38f}+F_{58}*h_{58f}+F_{68}*h_{68f}+F_{78}*h_{78f}+F_{88}*h_{88f}-$$

$$Q_{E05}=F_{19}*h_{19f}+F_{29}*h_{29f}+F_{39}*h_{39f}+F_{59}*h_{59f}+F_{69}*h_{69f}+F_{79}*h_{79f}+F_{89}*h_{89f}$$

$$Q_{E05}=F_{19}*cp_{med_19}*(T_{20}-T_{19})$$

$$x_{119}=F_{119}/F_{19}$$

$$x_{219}=F_{219}/F_{19}$$

$$x_{319}=F_{319}/F_{19}$$

$$x_{419}=F_{419}/F_{19}$$

$$x_{519}=F_{519}/F_{19}$$

$$x_{619}=F_{619}/F_{19}$$

$$x_{719}=F_{719}/F_{19}$$

$$x_{819}=F_{819}/F_{19}$$

$$cp_{119}=Cp(Ammonia;T=T_{19};P=P_{19})$$

$$cp_{219}=Cp(Oxygen;T=T_7;P=P_{19})$$

$$cp_{319}=Cp(Nitrogen;T=T_7;P=P_{19})$$

$$cp_{419}=Cp(Nitrogen;T=T_7;P=P_{19})$$

$$cp_{519}=Cp(Water;T=T_7;P=P_{19})$$

$$cp_{619}=Cp(NO;T=T_{19})$$

$$cp_{719}=Cp(NO_2;T=T_{19})$$

$$cp_{819}=Cp(NO_2;T=T_{19})$$

$$cp_{med_19}=x_{119}*cp_{119}+x_{219}*cp_{219}+x_{319}*cp_{319}+x_{419}*cp_{419}+x_{519}*cp_{519}+x_{619}$$

$$*cp_{619}+x_{719}*cp_{719}+x_{819}*cp_{819}$$

$$Q_{E05_def}=Q_{E05}*(365/(HF*3600))$$

$$Q_{E05_def}*1000=A_{E05}*U_{E05}*(F_{E05}*DTLM_{E05})$$

$$F_{E05}=1$$

$$R_{E05}=(T_8-T_9)/(T_{20}-T_{19})$$

$$P_{E05}=(T_{20}-T_{19})/(T_8-T_{19})$$

$$DTLM_{E05}=((T_8-T_{20})-(T_9-T_{19}))/LN((T_8-T_{20})/(T_9-T_{19}))$$

$$U_{E05}=1/(((D_{ext_E05}/D_{int_E05})*((1/h_{int_E05})+Fs_{int_E05}))+1/h_{ext_E05}+Fs_{ext_E05})$$

$$Fs_{int_E05}=0 \text{ [m}^2\text{*K/W] "¡ Se desprecia"}$$

$$Fs_{ext_E05}=0,002050 \text{ [m}^2\text{*K/W] "¡ Tablas"}$$

$$D_{ext_E05}/D_{int_E05}=1,556$$

$$Re_{E05}=(4*F8*(365/(HF*3600)))/(\pi*D_{int_E05}*visc_{E05}*(N_{tubos_E05}/N_{pasos_E05}))$$

$$v_{E05}=22$$

$$x_{18}=F_{18}/F8$$

$$x_{28}=F_{28}/F8$$

$$x_{38}=F_{38}/F8$$

$$x_{48}=F_{48}/F8$$

$$x_{58}=F_{58}/F8$$

$$x_{68}=F_{68}/F8$$

$$x_{78}=F_{78}/F8$$

$$x_{88}=F_{88}/F8$$

$$visc_{18}=\text{Viscosity}(\text{Ammonia};T=T8;P=P8)$$

$$visc_{28}=\text{Viscosity}(\text{Oxygen};T=T8;P=P8)$$

$$visc_{38}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T8;P=P8)$$

$$visc_{48}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T8;P=P8)$$

$$visc_{58}=\text{Viscosity}(\text{Water};T=T8;P=P8)$$

$$visc_{68}=\text{Viscosity}(\text{NO};T=T8)$$

$$visc_{78}=\text{Viscosity}(\text{NO}_2;T=T8)$$

$$visc_{88}=\text{Viscosity}(\text{NO}_2;T=T8)$$

$$visc_{E05}=x_{18}*visc_{18}+x_{28}*visc_{28}+x_{38}*visc_{38}+x_{48}*visc_{48}+x_{58}*visc_{58}+x_{68}*visc_{78}+x_{78}*visc_{88}+x_{88}*visc_{88}$$

$$Nu_{E05}=0,023*Re_{E05}^{(4/5)}*Pr_{E05}^{(n_{E05})}$$

$$n_{E05}=0,4$$

$$Pr_{E05}=(cp_{E05}*visc_{E05}*1000)/k_{E05}$$

$$cp_{18}=\text{Cp}(\text{Ammonia};T=T8;P=P8)$$

$$cp_{28}=\text{Cp}(\text{Oxygen};T=T8;P=P8)$$

$$cp_{38}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T8;P=P8)$$

$$cp_{48}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T8;P=P8)$$

$$cp_{58}=\text{Cp}(\text{Water};T=T8;P=P8)$$

$$cp_{68}=Cp(NO;T=T8)$$

$$cp_{78}=Cp(NO_2;T=T8)$$

$$cp_{88}=Cp(NO_2;T=T8)$$

$$cp_{E05}=x_{18}*cp_{18}+x_{28}*cp_{28}+x_{38}*cp_{38}+x_{48}*cp_{48}+x_{58}*cp_{58}+x_{68}*cp_{68}+x_{78}*cp_{78}+x_{88}*cp_{88}$$

$$k_{18}=Conductivity(Ammonia;T=T8;P=P8)$$

$$k_{28}=Conductivity(Oxygen;T=T8;P=P8)$$

$$k_{38}=Conductivity(Nitrogen;T=T8;P=P8)$$

$$k_{48}=Conductivity(Nitrogen;T=T8;P=P8)$$

$$k_{58}=Conductivity(Water;T=T8;P=P8)$$

$$k_{68}=Conductivity(NO;T=T8)$$

$$k_{78}=Conductivity(NO_2;T=T8)$$

$$k_{88}=Conductivity(NO_2;T=T8)$$

$$k_{E05}=x_{18}*k_{18}+x_{28}*k_{28}+x_{38}*k_{38}+x_{48}*k_{48}+x_{58}*k_{58}+x_{68}*k_{68}+x_{78}*k_{78}+x_{88}*k_{88}$$

$$Nu_{E05}=h_{int_E05}*D_{int_E05}/k_{E05}$$

$$h_{ext_E05}=v_{E05}^{(0,55)} \text{ "Aproximación bastante buena"}$$

$$A_{carcasa_E05}=A_{E05}/N_{carcasa_E05}$$

$$N_{carcasa_E05}=6$$

$$A_{carcasa_E05}=\pi*D_{ext_E05}*L_{E05}*N_{tubos_E05}$$

$$D_{ext_E05}=0,0635 \text{ [m]}$$

$$N_{pasos_E05}=4$$

$$N_{tubos_E05}=450$$

"E07"

$$P10=P9$$

$$T10=100[^\circ\text{C}]$$

$$h_{110}=Enthalpy(Ammonia;T=T10;P=P10)$$

$$h_{210}=Enthalpy(Oxygen;T=T10;P=P10)$$

$$h_{310}=Enthalpy(Nitrogen;T=T10;P=P10)$$

$$h_{510}=Enthalpy(Water;T=T10;P=P10)$$

$$h_{610}=Enthalpy(NO;T=T10)$$

$$h_{710}=Enthalpy(NO_2;T=T10)$$

$$h_{810} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T = T_{10})$$

$$h_{1010} = \text{Enthalpy}(\text{HNO}_3; T = T_{10})$$

$$h_{110f} = h_{\text{ref}1} + h_{110} - h_{\text{amb}1}$$

$$h_{210f} = h_{\text{ref}2} + h_{210} - h_{\text{amb}2}$$

$$h_{310f} = h_{\text{ref}3} + h_{310} - h_{\text{amb}3}$$

$$h_{510f} = h_{\text{ref}5} + h_{510} - h_{\text{amb}5}$$

$$h_{610f} = h_{\text{ref}6} + h_{610} - h_{\text{amb}6}$$

$$h_{710f} = h_{\text{ref}7} + h_{710} - h_{\text{amb}7}$$

$$h_{810f} = h_{\text{ref}8} + h_{810} - h_{\text{amb}8}$$

$$h_{1010f} = h_{\text{ref}10} + h_{1010} - h_{\text{amb}10}$$

$$F_{19} \cdot h_{19f} + F_{29} \cdot h_{29f} + F_{39} \cdot h_{39f} + F_{59} \cdot h_{59f} + F_{69} \cdot h_{69f} + F_{79} \cdot h_{79f} + F_{89} \cdot h_{89f} - \\ Q_{E07} = F_{110} \cdot h_{110f} + F_{210} \cdot h_{210f} + F_{310} \cdot h_{310f} + F_{510} \cdot h_{510f} + F_{610} \cdot h_{610f} + F_{710} \cdot h_{710f} + \\ F_{810} \cdot h_{810f} + F_{1010} \cdot h_{1010f}$$

$$T_{\text{refrig_E07_sal}} = 100 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{\text{refrig_E07_ent}} = 25 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_{\text{refrig_E07_sal}} = P_{\text{refrig_E07_ent}}$$

$$P_{\text{refrig_E07_sal}} = 1 \text{ [bar]}$$

$$H_{\text{refrig_E07_sal}} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = T_{\text{refrig_E07_sal}}; P = P_{\text{refrig_E07_sal}})$$

$$H_{\text{refrig_E07_ent}} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T = T_{\text{refrig_E07_ent}}; P = P_{\text{refrig_E07_ent}})$$

$$Q_{E07} = m_{\text{agua_refrig_E07}} \cdot (H_{\text{refrig_E07_sal}} - H_{\text{refrig_E07_ent}})$$

$$Q_{E07_def} = Q_{E07} \cdot (365 / (HF \cdot 3600))$$

$$Q_{E07_def} \cdot 1000 = A_{E07} \cdot U_{E07} \cdot (F_{E07} \cdot DTLM_{E07})$$

$$F_{E07} = 1$$

$$R_{E07} = (T_9 - T_{10}) / (T_{\text{refrig_E07_sal}} - T_{\text{refrig_E07_ent}})$$

$$P_{E07} = (T_{\text{refrig_E07_sal}} - T_{\text{refrig_E07_ent}}) / (T_6 - T_{\text{refrig_E07_ent}})$$

$$DTLM_{E07} = ((T_9 - T_{\text{refrig_E07_sal}}) - (T_{10} - T_{\text{refrig_E07_ent}})) / \text{LN}((T_9 - T_{\text{refrig_E07_sal}}) / (T_{10} - T_{\text{refrig_E07_ent}}))$$

$$U_{E07} = 1 / (((D_{\text{ext_E07}} / D_{\text{int_E07}}) \cdot ((1/h_{\text{int_E07}}) + F_{s_int_E07})) + 1/h_{\text{ext_E07}} + F_{s_ext_E07})$$

$$F_{s_int_E07} = 0 \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ ""! Se desprecia"}$$

$$F_{s_ext_E07} = 0,002050 \text{ [m}^2\text{K/W]} \text{ ""! Tablas"}$$

$$D_{\text{ext_E07}} / D_{\text{int_E07}} = 1,556$$

$$Re_{E07} = (4 \cdot F_9 \cdot (365 / (HF \cdot 3600))) / (\pi \cdot D_{\text{int_E07}} \cdot \text{visc}_{E07} \cdot (N_{\text{tubos_E07}} / N_{\text{pasos_E07}}))$$

$$v_{E07}=22$$

$$x_{19}=F_{19}/F9$$

$$x_{29}=F_{29}/F9$$

$$x_{39}=F_{39}/F9$$

$$x_{49}=F_{49}/F9$$

$$x_{59}=F_{59}/F9$$

$$x_{69}=F_{69}/F9$$

$$x_{79}=F_{79}/F9$$

$$x_{89}=F_{89}/F9$$

$$\text{visc}_{19}=\text{Viscosity}(\text{Ammonia};T=T9;P=P9)$$

$$\text{visc}_{29}=\text{Viscosity}(\text{Oxygen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{visc}_{39}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{visc}_{49}=\text{Viscosity}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{visc}_{59}=\text{Viscosity}(\text{Water};T=T9;P=P9)$$

$$\text{visc}_{69}=\text{Viscosity}(\text{NO};T=T9)$$

$$\text{visc}_{79}=\text{Viscosity}(\text{NO}_2;T=T9)$$

$$\text{visc}_{89}=\text{Viscosity}(\text{NO}_2;T=T9)$$

$$\text{visc}_{E07}=x_{19}*\text{visc}_{19}+x_{29}*\text{visc}_{29}+x_{39}*\text{visc}_{39}+x_{49}*\text{visc}_{49}+x_{59}*\text{visc}_{59}+x_{69}*\text{visc}_{69}+x_{79}*\text{visc}_{79}+x_{89}*\text{visc}_{89}$$

$$\text{Nu}_{E07}=0,023*\text{Re}_{E07}^{(4/5)}*\text{Pr}_{E07}^{(n_{E07})}$$

$$n_{E07}=0,4$$

$$\text{Pr}_{E07}=(\text{cp}_{E07}*\text{visc}_{E07}*1000)/k_{E07}$$

$$\text{cp}_{19}=\text{Cp}(\text{Ammonia};T=T9;P=P9)$$

$$\text{cp}_{29}=\text{Cp}(\text{Oxygen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{cp}_{39}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{cp}_{49}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$\text{cp}_{59}=\text{Cp}(\text{Water};T=T9;P=P9)$$

$$\text{cp}_{69}=\text{Cp}(\text{NO};T=T9)$$

$$\text{cp}_{79}=\text{Cp}(\text{NO}_2;T=T9)$$

$$\text{cp}_{89}=\text{Cp}(\text{NO}_2;T=T9)$$

$$\text{cp}_{E07}=x_{19}*\text{cp}_{19}+x_{29}*\text{cp}_{29}+x_{39}*\text{cp}_{39}+x_{49}*\text{cp}_{49}+x_{59}*\text{cp}_{59}+x_{69}*\text{cp}_{69}+x_{79}*\text{cp}_{79}+x_{89}*\text{cp}_{89}$$

$$k_{19}=\text{Conductivity}(\text{Ammonia};T=T9;P=P9)$$

$$k_{29}=\text{Conductivity}(\text{Oxygen};T=T9;P=P9)$$

$$k_{39}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$k_{49}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T9;P=P9)$$

$$k_{59}=\text{Conductivity}(\text{Water};T=T9;P=P9)$$

$$k_{69}=\text{Conductivity}(\text{NO};T=T9)$$

$$k_{79}=\text{Conductivity}(\text{NO};T=T9)$$

$$k_{89}=\text{Conductivity}(\text{NO};T=T9)$$

$$k_{E07}=x_{19}*k_{19}+x_{29}*k_{29}+x_{39}*k_{39}+x_{49}*k_{49}+x_{59}*k_{59}+x_{69}*k_{69}+x_{79}*k_{79}+x_{89}*k_{89}$$

$$\text{Nu}_{E07}=h_{\text{int}_{E07}}*D_{\text{int}_{E07}}/k_{E07}$$

$$h_{\text{ext}_{E07}}=v_{E07}^{(0,55)} \text{ "Aproximación bastante buena"}$$

$$A_{\text{carcasa}_{E07}}=A_{E07}/N_{\text{carcasa}_{E07}}$$

$$N_{\text{carcasa}_{E07}}=6$$

$$A_{\text{carcasa}_{E07}}=\pi*D_{\text{ext}_{E07}}*L_{E07}*N_{\text{tubos}_{E07}}$$

$$D_{\text{ext}_{E07}}=0,0635 \text{ [m]}$$

$$N_{\text{pasos}_{E07}}=4$$

$$N_{\text{tubos}_{E07}}=1500$$

"P02"

$$\rho_{110}=\text{Density}(\text{Ammonia};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{210}=\text{Density}(\text{O2};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{310}=\text{Density}(\text{N2};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{410}=\rho_{310}$$

$$\rho_{510}=\text{Density}(\text{Water};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{610}=\text{Density}(\text{NO};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{710}=\text{Density}(\text{NO2};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{810}=\text{Density}(\text{N2O4};T=T10;P=P10)$$

$$\rho_{1010}=\text{Density}(\text{HNO3};T=T10;P=P10)$$

$$x_{110}=F_{110}/F10$$

$$x_{210}=F_{210}/F10$$

$$x_{310}=F_{310}/F10$$

$$x_{410}=F_{410}/F10$$

$$x_{510}=F_{510}/F_{10}$$

$$x_{610}=F_{610}/F_{10}$$

$$x_{710}=F_{710}/F_{10}$$

$$x_{810}=F_{810}/F_{10}$$

$$x_{1010}=F_{1010}/F_{10}$$

$$\rho_{med_P02}=x_{110}*\rho_{110}+x_{210}*\rho_{210}+x_{310}*\rho_{310}+x_{410}*\rho_{410}+x_{510}*\rho_{510}+x_{610}*\rho_{610}+x_{710}*\rho_{710}+x_{810}*\rho_{810}+x_{1010}*\rho_{1010}$$

$$F_{10}=Q_{10}*\rho_{med_P02}$$

$$Q_{10_def}=Q_{10}*(365/HF*3600)$$

$$\Delta H_{P02}=(((P_{11}-P_{10})*100000)/\rho_{med_P02})+((u_{sal_P02}^{(2)}-u_{ent_P02}^{(2)}))/2$$

$$u_{sal_P02}=u_{ent_P02}$$

$$u_{ent_P02}=1 \text{ [m/s]}$$

$$\Delta H_{P02_def}=\Delta H_{P02}/9,8$$

$$Pot_{P02}=(\rho_{med_P02}*9,8*Q_{10_def}*\Delta H_{P02_def})/1000$$

$$Pot_{P02_def}=Pot_{P02}/rend_{P02}$$

$$rend_{P02}=0,75 \text{ [%]}$$

"CA01"

$$P_{11}=7,500005 \text{ [bar]}$$

$$T_{11}=T_{10}$$

$$T_{54}=7 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$P_{54}=1 \text{ [bar]}$$

$$T_{56}=T_{54}$$

$$P_{56}=P_{54}$$

$$F_{554}=5000 \text{ [kg/día]}$$

$$F_{554}=F_{556}$$

$$F_{557}=F_{556}$$

$$T_{57}=40 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$P_{57}=P_{56}$$

$$T_{17}=65 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$P_{17}=10 \text{ [bar]}$$

$$T_{18}=10 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

$$P_{18}=10 \text{ [bar]}$$

$T_{12}=48[^\circ\text{C}]$
 $P_{12}=10[\text{bar}]$
 $F_{5\text{refr_ent_CA01}}=5000[\text{kg/día}]$
 $F_{5\text{refr_ent_CA01}}=F_{5\text{refr_sal_CA01}}$
 $T_{\text{refr_ent_CA01}}=20[^\circ\text{C}]$
 $T_{\text{refr_sal_CA01}}=40[^\circ\text{C}]$
 $P_{\text{refr_ent_CA01}}=1[\text{bar}]$
 $P_{\text{refr_ent_CA01}}=P_{\text{refr_sal_CA01}}$
 $h_{111}=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};T=T_{11};P=P_{11})$
 $h_{211}=\text{Enthalpy}(\text{Oxygen};T=T_{11};P=P_{11})$
 $h_{311}=\text{Enthalpy}(\text{Nitrogen};T=T_{11};P=P_{11})$
 $h_{511}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{11};P=P_{11})$
 $h_{611}=\text{Enthalpy}(\text{NO};T=T_{11})$
 $h_{711}=\text{Enthalpy}(\text{NO}_2;T=T_{11})$
 $h_{811}=\text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4;T=T_{11})$
 $h_{1011}=\text{Enthalpy}(\text{HNO}_3;T=T_{11})$
 $h_{5\text{agua_refrig_ent_CA01}}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{\text{refr_ent_CA01}};P=P_{\text{refr_ent_CA01}})$
 $h_{5\text{agua_refrig_sal_CA01}}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{\text{refr_sal_CA01}};P=P_{\text{refr_sal_CA01}})$
 $h_{554}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{54};P=P_{54})$
 $h_{556}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{56};P=P_{56})$
 $h_{117}=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};T=T_{17};P=P_{17})$
 $h_{217}=\text{Enthalpy}(\text{Oxygen};T=T_{17};P=P_{17})$
 $h_{317}=\text{Enthalpy}(\text{Nitrogen};T=T_{17};P=P_{17})$
 $h_{517}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{17};P=P_{17})$
 $h_{617}=\text{Enthalpy}(\text{NO};T=T_{17})$
 $h_{717}=\text{Enthalpy}(\text{NO}_2;T=T_{17})$
 $h_{817}=\text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4;T=T_{17})$
 $h_{112}=\text{Enthalpy}(\text{Ammonia};T=T_{12};P=P_{12})$
 $h_{212}=\text{Enthalpy}(\text{Oxygen};T=T_{12};P=P_{12})$
 $h_{312}=\text{Enthalpy}(\text{Nitrogen};T=T_{12};P=P_{12})$
 $h_{512}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T_{12};P=P_{12})$

$h_{612} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T12)$
 $h_{712} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T12)$
 $h_{812} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T12)$
 $h_{1012} = \text{Enthalpy}(\text{HNO}_3; T=T12)$
 $h_{118} = \text{Enthalpy}(\text{Ammonia}; T=T18; P=P18)$
 $h_{218} = \text{Enthalpy}(\text{Oxygen}; T=T18; P=P18)$
 $h_{318} = \text{Enthalpy}(\text{Nitrogen}; T=T18; P=P18)$
 $h_{518} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T18; P=P18)$
 $h_{618} = \text{Enthalpy}(\text{NO}; T=T18)$
 $h_{718} = \text{Enthalpy}(\text{NO}_2; T=T18)$
 $h_{818} = \text{Enthalpy}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T18)$
 $h_{557} = \text{Enthalpy}(\text{Water}; T=T57; P=P57)$
 $h_{111f} = h_{\text{ref}1} + h_{111} - h_{\text{amb}1}$
 $h_{211f} = h_{\text{ref}2} + h_{211} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{311f} = h_{\text{ref}3} + h_{311} - h_{\text{amb}3}$
 $h_{511f} = h_{\text{ref}5} + h_{511} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{611f} = h_{\text{ref}6} + h_{611} - h_{\text{amb}6}$
 $h_{711f} = h_{\text{ref}7} + h_{711} - h_{\text{amb}7}$
 $h_{811f} = h_{\text{ref}8} + h_{811} - h_{\text{amb}8}$
 $h_{1011f} = h_{\text{ref}10} + h_{1011} - h_{\text{amb}10}$
 $h_{554f} = h_{\text{ref}5} + h_{554} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{556f} = h_{\text{ref}5} + h_{556} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{117f} = h_{\text{ref}1} + h_{117} - h_{\text{amb}1}$
 $h_{217f} = h_{\text{ref}2} + h_{217} - h_{\text{amb}2}$
 $h_{317f} = h_{\text{ref}3} + h_{317} - h_{\text{amb}3}$
 $h_{517f} = h_{\text{ref}5} + h_{517} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{617f} = h_{\text{ref}6} + h_{617} - h_{\text{amb}6}$
 $h_{717f} = h_{\text{ref}7} + h_{717} - h_{\text{amb}7}$
 $h_{817f} = h_{\text{ref}8} + h_{817} - h_{\text{amb}8}$
 $h_{557f} = h_{\text{ref}5} + h_{557} - h_{\text{amb}5}$
 $h_{112f} = h_{\text{ref}1} + h_{112} - h_{\text{amb}1}$

$$h_{212f}=h_{ref2}+h_{212}-h_{amb2}$$

$$h_{312f}=h_{ref3}+h_{312}-h_{amb3}$$

$$h_{512f}=h_{ref5}+h_{512}-h_{amb5}$$

$$h_{612f}=h_{ref6}+h_{612}-h_{amb6}$$

$$h_{712f}=h_{ref7}+h_{712}-h_{amb7}$$

$$h_{812f}=h_{ref8}+h_{812}-h_{amb8}$$

$$h_{1012f}=h_{ref10}+h_{1012}-h_{amb10}$$

$$h_{118f}=h_{ref1}+h_{118}-h_{amb1}$$

$$h_{218f}=h_{ref2}+h_{218}-h_{amb2}$$

$$h_{318f}=h_{ref3}+h_{318}-h_{amb3}$$

$$h_{518f}=h_{ref5}+h_{518}-h_{amb5}$$

$$h_{618f}=h_{ref6}+h_{618}-h_{amb6}$$

$$h_{718f}=h_{ref7}+h_{718}-h_{amb7}$$

$$h_{818f}=h_{ref8}+h_{818}-h_{amb8}$$

$$h_{5f_agua_refrig_ent_CA01}=h_{ref5}+h_{5_agua_refrig_ent_CA01}-h_{amb5}$$

$$h_{5f_agua_refrig_sal_CA01}=h_{ref5}+h_{5_agua_refrig_sal_CA01}-h_{amb5}$$

$$F_{111}*h_{111f}+F_{211}*h_{211f}+F_{311}*h_{311f}+F_{511}*h_{511f}+F_{611}*h_{611f}+F_{711}*h_{711f}+F_{811}*h_{811f}+F_{1011}*h_{1011}+F_{554}*h_{554f}+F_{556}*h_{556f}+F_{117}*h_{117f}+F_{217}*h_{217f}+F_{317}*h_{317f}+F_{517}*h_{517f}+F_{617}*h_{617f}+F_{717}*h_{717f}+F_{817}*h_{817f}+F_{5refr_ent_CA01}*h_{5f_agua_refrig_ent_CA01}-$$

$$Q_{CA01}=F_{557}*h_{557f}+F_{112}*h_{112f}+F_{212}*h_{212f}+F_{312}*h_{312f}+F_{512}*h_{512f}+F_{612}*h_{612f}+F_{712}*h_{712f}+F_{812}*h_{812f}+F_{1012}*h_{1012}+F_{118}*h_{118f}+F_{218}*h_{218f}+F_{318}*h_{318f}+F_{518}*h_{518f}+F_{618}*h_{618f}+F_{718}*h_{718f}+F_{818}*h_{818f}+F_{5refr_sal_CA01}*h_{5f_agua_refrig_sal_CA01}$$

$$Q_{CA01_def}=Q_{CA01}*(365/(HF*3600))$$

$$F_{CA_01}=\rho_{med_CA01}*Q_{a_CA01}$$

$$F_{CA_01}=F_{554}+F_{17}+F_{11}$$

$$\rho_{5_54}=\text{Density}(\text{Water};T=T_{54};P=P_{54})$$

$$\rho_{5_56}=\text{Density}(\text{Water};T=T_{56};P=P_{56})$$

$$\rho_{cw_ent}=\text{Density}(\text{Water};T=T_{refr_ent_CA01};P=P_{refr_ent_CA01})$$

$$\rho_{2_17}=\text{Density}(\text{Oxygen};T=T_{17};P=P_{17})$$

$$\rho_{3_17}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T_{17};P=P_{17})$$

$$\rho_{4_17}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T_{17};P=P_{17})$$

$$\rho_{6_17}=\text{Density}(\text{NO};T=T_{17};P=P_{17})$$

$\rho_{7_17} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T17; P=P17)$

$\rho_{8_17} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T17; P=P17)$

$\rho_{2_11} = \text{Density}(\text{Oxygen}; T=T11; P=P11)$

$\rho_{3_11} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T11; P=P11)$

$\rho_{4_11} = \text{Density}(\text{Nitrogen}; T=T11; P=P11)$

$\rho_{5_11} = \text{Density}(\text{Water}; T=T11; P=P11)$

$\rho_{6_11} = \text{Density}(\text{NO}; T=T11; P=P11)$

$\rho_{7_11} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T11; P=P11)$

$\rho_{8_11} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T11; P=P11)$

$\rho_{10_11} = \text{Density}(\text{HNO}_3; T=T11; P=P11)$

$x_{5_54} = F_{554}/F_{554}$

$x_{5_56} = F_{556}/F_{556}$

$x_{5_refrig_CA01} = F_{5refr_ent_CA01}/F_{5refr_ent_CA01}$

$x_{2_11} = F_{211}/F11$

$x_{3_11} = F_{311}/F11$

$x_{4_11} = F_{411}/F11$

$x_{5_11} = F_{511}/F11$

$x_{6_11} = F_{611}/F11$

$x_{7_11} = F_{711}/F11$

$x_{8_11} = F_{811}/F11$

$x_{10_11} = F_{1011}/F11$

$x_{2_17} = F_{217}/F17$

$x_{3_17} = F_{317}/F17$

$x_{4_17} = F_{417}/F17$

$x_{6_17} = F_{617}/F17$

$x_{7_17} = F_{717}/F17$

$x_{8_17} = F_{817}/F17$

$\rho_{med_CA01} = x_{5_54} \cdot \rho_{5_54} + x_{2_11} \cdot \rho_{2_11} + x_{3_11} \cdot \rho_{3_11} + x_{4_11} \cdot \rho_{4_11} + x_{5_11} \cdot \rho_{5_11} + x_{6_11} \cdot \rho_{6_11} + x_{7_11} \cdot \rho_{7_11} + x_{8_11} \cdot \rho_{8_11} + x_{10_11} \cdot \rho_{10_11} + x_{2_17} \cdot \rho_{2_17} + x_{3_17} \cdot \rho_{3_17} + x_{4_17} \cdot \rho_{4_17} + x_{6_17} \cdot \rho_{6_17} + x_{7_17} \cdot \rho_{7_17} + x_{8_17} \cdot \rho_{8_17}$

$Qa_CA01 \cdot (365/(HF \cdot 3600)) = A_CA_01 \cdot v_CA01$

$$A_{CA_01} = (\pi * D_{CA_01}^2) / 4$$

$$Vol_{CA01} = A_{CA_01} * H_{CA_01}$$

$$Vol_{CA01} = Qa_{CA01} * 0,25$$

$$H_{CA_01} = 10 \text{ [m]}$$

"P03"

$$\rho_{112} = \text{Density}(\text{Ammonia}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{212} = \text{Density}(\text{O2}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{312} = \text{Density}(\text{N2}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{412} = \rho_{312}$$

$$\rho_{512} = \text{Density}(\text{Water}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{612} = \text{Density}(\text{NO}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{712} = \text{Density}(\text{NO2}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{812} = \text{Density}(\text{N2O4}; T=T12; P=P12)$$

$$\rho_{1012} = \text{Density}(\text{HNO3}; T=T12; P=P12)$$

$$x_{112} = F_{112} / F12$$

$$x_{212} = F_{212} / F12$$

$$x_{312} = F_{312} / F12$$

$$x_{412} = F_{412} / F12$$

$$x_{512} = F_{512} / F12$$

$$x_{612} = F_{612} / F12$$

$$x_{712} = F_{712} / F12$$

$$x_{812} = F_{812} / F12$$

$$x_{1012} = F_{1012} / F12$$

$$\rho_{med_P03} = x_{112} * \rho_{112} + x_{212} * \rho_{212} + x_{312} * \rho_{312} + x_{412} * \rho_{412} + x_{512} * \rho_{512} + x_{612} * \rho_{612} + x_{712} * \rho_{712} + x_{812} * \rho_{812} + x_{1012} * \rho_{1012}$$

$$F12 = Q12 * \rho_{med_P03}$$

$$Q12_def = Q12 / (24 * 3600)$$

$$\Delta H_{P03} = (((P13 - P12) * 100000) / \rho_{med_P03}) + ((u_{sal_P03}^2 - u_{ent_P03}^2) / 2)$$

$$u_{sal_P03} = u_{ent_P03}$$

$$u_{ent_P03} = 1 \text{ [m/s]}$$

$$\Delta H_{P03_def} = \Delta H_{P03} / 9,8$$

$$Pot_{P03} = (\rho_{med_P03} * 9,8 * Q12_def * \Delta H_{P03_def}) / 1000$$

Pot_P03_def=Pot_P03/rend_P03

rend_P03=0,75 [%]

"BL01"

T12=T13

P13=15 [bar]

T35=80[°C]

P35=P36

T16=80[°C]

P16=P17

T14=55[°C]

P14=10 [bar]

h_113=Enthalpy(Ammonia;T=T13;P=P13)

h_213=Enthalpy(Oxygen;T=T13;P=P13)

h_313=Enthalpy(Nitrogen;T=T13;P=P13)

h_513=Enthalpy(Water;T=T13;P=P13)

h_613=Enthalpy(NO;T=T13)

h_713=Enthalpy(NO2;T=T13)

h_813=Enthalpy(N2O4;T=T13)

h_1013=Enthalpy(HNO3;T=T13)

h_235=Enthalpy(Oxygen;T=T35;P=P35)

h_335=Enthalpy(Nitrogen;T=T35;P=P35)

h_535=Enthalpy(Water;T=T35;P=P35)

h_514=Enthalpy(Water;T=T14;P=P14)

h_1014=Enthalpy(HNO3;T=T14)

h_116=Enthalpy(Ammonia;T=T16;P=P16)

h_216=Enthalpy(Oxygen;T=T16;P=P16)

h_316=Enthalpy(Nitrogen;T=T16;P=P16)

h_516=Enthalpy(Water;T=T16;P=P16)

h_616=Enthalpy(NO;T=T16)

h_716=Enthalpy(NO2;T=T16)

h_816=Enthalpy(N2O4;T=T16)

$$h_{113f}=h_{ref1}+h_{113}-h_{amb1}$$

$$h_{213f}=h_{ref2}+h_{213}-h_{amb2}$$

$$h_{313f}=h_{ref3}+h_{313}-h_{amb3}$$

$$h_{513f}=h_{ref5}+h_{513}-h_{amb5}$$

$$h_{613f}=h_{ref6}+h_{613}-h_{amb6}$$

$$h_{713f}=h_{ref7}+h_{713}-h_{amb7}$$

$$h_{813f}=h_{ref8}+h_{813}-h_{amb8}$$

$$h_{1013f}=h_{ref10}+h_{1013}-h_{amb10}$$

$$h_{235f}=h_{ref2}+h_{235}-h_{amb2}$$

$$h_{335f}=h_{ref3}+h_{335}-h_{amb3}$$

$$h_{535f}=h_{ref5}+h_{535}-h_{amb5}$$

$$h_{514f}=h_{ref5}+h_{514}-h_{amb5}$$

$$h_{1014f}=h_{ref10}+h_{1014}-h_{amb10}$$

$$h_{116f}=h_{ref1}+h_{116}-h_{amb1}$$

$$h_{216f}=h_{ref2}+h_{216}-h_{amb2}$$

$$h_{316f}=h_{ref3}+h_{316}-h_{amb3}$$

$$h_{516f}=h_{ref5}+h_{516}-h_{amb5}$$

$$h_{616f}=h_{ref6}+h_{616}-h_{amb6}$$

$$h_{716f}=h_{ref7}+h_{716}-h_{amb7}$$

$$h_{816f}=h_{ref8}+h_{816}-h_{amb8}$$

$$F_{113}*h_{113f}+F_{213}*h_{213f}+F_{313}*h_{313f}+F_{513}*h_{513f}+F_{613}*h_{613f}+F_{713}*h_{713f}+F_{813}*h_{813f}+F_{1013}*h_{1013f}+F_{235}*h_{235f}+F_{335}*h_{335f}+F_{535}*h_{535f}-$$

$$Q_{BL01}=F_{514}*h_{514f}+F_{1014}*h_{1014f}+F_{116}*h_{116f}+F_{216}*h_{216f}+F_{316}*h_{316f}+F_{516}$$

$$*h_{516f}+F_{616}*h_{616f}+F_{716}*h_{716f}+F_{816}*h_{816f}$$

$$Q_{BL01_def}=Q_{BL01}*(365/(HF*3600))$$

$$\rho_{2_35}=\text{Density}(\text{Oxygen};T=T35;P=P35)$$

$$\rho_{3_35}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T35;P=P35)$$

$$\rho_{4_35}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T35;P=P35)$$

$$\rho_{5_35}=\text{Density}(\text{Water};T=T35;P=P35)$$

$$\rho_{2_13}=\text{Density}(\text{Oxygen};T=T13;P=P13)$$

$$\rho_{3_13}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T13;P=P13)$$

$$\rho_{4_13}=\text{Density}(\text{Nitrogen};T=T13;P=P11)$$

$\rho_{5_13} = \text{Density}(\text{Water}; T=T13; P=P13)$
 $\rho_{6_13} = \text{Density}(\text{NO}; T=T13; P=P13)$
 $\rho_{7_13} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T13; P=P13)$
 $\rho_{8_13} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T13; P=P13)$
 $\rho_{10_13} = \text{Density}(\text{HNO}_3; T=T13; P=P13)$
 $x_{2_13} = F_{213}/F13$
 $x_{3_13} = F_{313}/F13$
 $x_{4_13} = F_{413}/F13$
 $x_{5_13} = F_{513}/F13$
 $x_{6_13} = F_{613}/F13$
 $x_{7_13} = F_{713}/F13$
 $x_{8_13} = F_{813}/F13$
 $x_{10_13} = F_{1013}/F13$
 $x_{2_35} = F_{235}/F35$
 $x_{3_35} = F_{335}/F35$
 $x_{4_35} = F_{435}/F35$
 $x_{5_35} = F_{535}/F35$

"P04"

$P15 = 12 \text{ [bar]}$
 $\rho_{114} = \text{Density}(\text{Ammonia}; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{214} = \text{Density}(\text{O}_2; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{314} = \text{Density}(\text{N}_2; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{414} = \rho_{314}$
 $\rho_{514} = \text{Density}(\text{Water}; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{614} = \text{Density}(\text{NO}; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{714} = \text{Density}(\text{NO}_2; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{814} = \text{Density}(\text{N}_2\text{O}_4; T=T14; P=P14)$
 $\rho_{1014} = \text{Density}(\text{HNO}_3; T=T14; P=P14)$
 $x_{114} = F_{114}/F14$
 $x_{214} = F_{214}/F14$
 $x_{314} = F_{314}/F14$

$$x_{414}=F_{414}/F14$$

$$x_{514}=F_{514}/F14$$

$$x_{614}=F_{614}/F14$$

$$x_{714}=F_{714}/F14$$

$$x_{814}=F_{814}/F14$$

$$x_{1014}=F_{1014}/F14$$

$$\rho_{med_P04}=x_{114}*\rho_{114}+x_{214}*\rho_{214}+x_{314}*\rho_{314}+x_{414}*\rho_{414}+x_{514}*\rho_{514}+x_{614}*\rho_{614}+x_{714}*\rho_{714}+x_{814}*\rho_{814}+x_{1014}*\rho_{1014}$$

$$F14=Q14*\rho_{med_P04}$$

$$Q14_def=Q14/(24*3600)$$

$$\Delta H_{P04}=(((P15-P14)*100000)/\rho_{med_P04})+((u_{sal_P04}^2-u_{ent_P04}^2)/2)$$

$$u_{sal_P04}=u_{ent_P04}$$

$$u_{ent_P04}=1 \text{ [m/s]}$$

$$\Delta H_{P04_def}=\Delta H_{P04}/9,8$$

$$Pot_{P04}=(\rho_{med_P03}*9,8*Q12_def*\Delta H_{P03_def})/1000$$

$$Pot_{P04_def}=Pot_{P04}/rend_{P04}$$

$$rend_{P04}=0,75 \text{ [%]}$$

"E08"

$$T48=20[^\circ\text{C}]$$

$$P48=1[\text{bar}]$$

$$T49=70[^\circ\text{C}]$$

$$P49=P48$$

$$F_{548}=F_{549}$$

$$h_{548}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T19;P=P19)$$

$$h_{549}=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T49;P=P49)$$

$$h_{548f}=h_{ref5}+h_{548}-h_{amb5}$$

$$h_{549f}=h_{ref5}+h_{549}-h_{amb5}$$

$$F_{116}*h_{116f}+F_{216}*h_{216f}+F_{316}*h_{316f}+F_{516}*h_{516f}+F_{616}*h_{616f}+F_{716}*h_{716f}+F_{816}*h_{816f}-$$

$$Q_{E08}=F_{117}*h_{117f}+F_{217}*h_{217f}+F_{317}*h_{317f}+F_{517}*h_{517f}+F_{617}*h_{617f}+F_{717}*h_{717f}+F_{817}*h_{817f}$$

$$Q_{E08}=F_{548}*cp_{5_4849}*(T49-T48)$$

$$cp_{5_48}=\text{Cp}(\text{Water};T=T48;P=P48)$$

$cp_{5_49} = Cp(\text{Water}; T=T_{49}; P=P_{49})$
 $cp_{5_4849} = (cp_{5_48} + cp_{5_49})/2$
 $Q_{E08_def} = Q_{E08} * (365 / (HF * 3600))$
 $Q_{E08_def} * 1000 = A_{E08} * U_{E08} * (F_{E08} * DTLM_{E08})$
 $F_{E08} = 0,98$
 $R_{E08} = (T_{16} - T_{17}) / (T_{49} - T_{48})$
 $P_{E08} = (T_{49} - T_{48}) / (T_{16} - T_{48})$
 $DTLM_{E08} = ((T_{16} - T_{49}) - (T_{17} - T_{48})) / \ln((T_{16} - T_{49}) / (T_{17} - T_{48}))$
 $U_{E08} = 1 / (((D_{ext_E08} / D_{int_E08}) * ((1/h_{int_E08}) + Fs_{int_E08})) + 1/h_{ext_E08} + Fs_{ext_E08})$
 $Fs_{int_E08} = 0 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W] "!" Se desprecia"}$
 $Fs_{ext_E08} = 0,002050 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W] "!" Tablas"}$
 $D_{ext_E08} / D_{int_E08} = 1,556$
 $Re_{E08} = (4 * F_{16} * (365 / (HF * 3600))) / (\pi * D_{int_E08} * visc_{E08} * (N_{tubos_E08} / N_{pasos_E08}))$
 $v_{E08} = 22$
 $x_{116} = F_{116} / F_{16}$
 $x_{216} = F_{216} / F_{16}$
 $x_{316} = F_{316} / F_{16}$
 $x_{416} = F_{416} / F_{16}$
 $x_{516} = F_{516} / F_{16}$
 $x_{616} = F_{616} / F_{16}$
 $x_{716} = F_{716} / F_{16}$
 $x_{816} = F_{816} / F_{16}$
 $visc_{116} = \text{Viscosity}(\text{Ammonia}; T=T_{16}; P=P_{16})$
 $visc_{216} = \text{Viscosity}(\text{Oxygen}; T=T_{16}; P=P_{16})$
 $visc_{316} = \text{Viscosity}(\text{Nitrogen}; T=T_{16}; P=P_{16})$
 $visc_{416} = \text{Viscosity}(\text{Nitrogen}; T=T_{16}; P=P_{16})$
 $visc_{516} = \text{Viscosity}(\text{Water}; T=T_{16}; P=P_{16})$
 $visc_{616} = \text{Viscosity}(\text{NO}; T=T_{16})$
 $visc_{716} = \text{Viscosity}(\text{NO}_2; T=T_{16})$
 $visc_{816} = \text{Viscosity}(\text{NO}_2; T=T_{16})$
 $visc_{E08} = x_{116} * visc_{116} + x_{216} * visc_{216} + x_{316} * visc_{316} + x_{416} * visc_{416} + x_{516} * visc_{516} + x_{616} * visc_{616} + x_{716} * visc_{716} + x_{816} * visc_{816}$

$$\text{Nu}_{E08}=0,023*\text{Re}_{E08}^{(4/5)}*\text{Pr}_{E08}^{(n_{E08})}$$

$$n_{E08}=0,4$$

$$\text{Pr}_{E08}=(\text{cp}_{E08}*\text{visc}_{E08}*1000)/k_{E08}$$

$$\text{cp}_{116}=\text{Cp}(\text{Ammonia};T=T16;P=P16)$$

$$\text{cp}_{216}=\text{Cp}(\text{Oxygen};T=T16;P=P16)$$

$$\text{cp}_{316}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T16;P=P16)$$

$$\text{cp}_{416}=\text{Cp}(\text{Nitrogen};T=T16;P=P16)$$

$$\text{cp}_{516}=\text{Cp}(\text{Water};T=T16;P=P16)$$

$$\text{cp}_{616}=\text{Cp}(\text{NO};T=T16)$$

$$\text{cp}_{716}=\text{Cp}(\text{NO}_2;T=T16)$$

$$\text{cp}_{816}=\text{Cp}(\text{NO}_2;T=T16)$$

$$\text{cp}_{E08}=x_{116}*\text{cp}_{116}+x_{216}*\text{cp}_{216}+x_{316}*\text{cp}_{316}+x_{416}*\text{cp}_{416}+x_{516}*\text{cp}_{516}+x_{616}*\text{cp}_{616}+x_{716}*\text{cp}_{716}+x_{816}*\text{cp}_{816}$$

$$k_{116}=\text{Conductivity}(\text{Ammonia};T=T16;P=P16)$$

$$k_{216}=\text{Conductivity}(\text{Oxygen};T=T16;P=P16)$$

$$k_{316}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T16;P=P16)$$

$$k_{416}=\text{Conductivity}(\text{Nitrogen};T=T16;P=P16)$$

$$k_{516}=\text{Conductivity}(\text{Water};T=T16;P=P16)$$

$$k_{616}=\text{Conductivity}(\text{NO};T=T16)$$

$$k_{716}=\text{Conductivity}(\text{NO}_2;T=T16)$$

$$k_{816}=\text{Conductivity}(\text{NO}_2;T=T16)$$

$$k_{E08}=x_{116}*k_{116}+x_{216}*k_{216}+x_{316}*k_{316}+x_{416}*k_{416}+x_{516}*k_{516}+x_{616}*k_{616}+x_{716}*k_{716}+x_{816}*k_{816}$$

$$\text{Nu}_{E08}=h_{\text{int}_{E08}}*D_{\text{int}_{E08}}/k_{E08}$$

$$h_{\text{ext}_{E08}}=v_{E08}^{(0,55)} \text{ "¡ Aproximación bastante buena"}$$

$$A_{\text{carcasa}_{E08}}=A_{E08}/N_{\text{carcasa}_{E08}}$$

$$N_{\text{carcasa}_{E08}}=3$$

$$A_{\text{carcasa}_{E08}}=\pi*D_{\text{ext}_{E08}}*L_{E08}*N_{\text{tubos}_{E08}}$$

$$D_{\text{ext}_{E08}}=0,0635 \text{ [m]}$$

$$N_{\text{pasos}_{E08}}=4$$

$$N_{\text{tubos}_{E08}}=450$$

"DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS QUE NO TIENEN TRANSFERENCIA DE ENERGÍA"

"TK01"

$$\rho_{TK01}=698,23 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\rho_{TK01}=m1_TK01/V1_TK01$$

$$m1_TK01=F1*243$$

$$\text{Capacidad_TK01}=0,86$$

$$\text{Capacidad_total_TK01}=V1_TK01/\text{Capacidad_TK01}$$

D_TK01=25 [m] "Se considera como producto inflamable de clase A1 según ITC MIE-AQP 1, el diámetro mínimo es de 25 m"

$$A_TK01=(\pi*D_TK01^{(2)})/4$$

$$\text{Capacidad_total_TK01}=A_TK01*H_TK01$$

"TK02"

$$T15=T14$$

$$x_{515}=F_{515}/F15$$

$$x_{1015}=F_{1015}/F15$$

$$\rho_{5_TK02}=\text{Density}(\text{HNO}_3;T=T15;P=P15)$$

$$\rho_{10_TK02}=\text{Density}(\text{H}_2\text{O};T=T15;P=P15)$$

$$\rho_{med_TK02}=(x_{515}*\rho_{5_TK02}+x_{1015}*\rho_{10_TK02})$$

$$\rho_{med_TK02}=m1_TK02/V_TK02$$

$$m1_TK02=F15*2$$

$$\text{Capacidad_TK02}=0,86$$

$$\text{Capacidad_total_TK02}=V_TK02/\text{Capacidad_TK02}$$

$$V_def_TK02=\text{Capacidad_total_TK02}/n_TK02$$

$$n_TK02=3$$

$$V_def_TK02=A_TK02*H_TK02$$

$$H_TK02=10[\text{m}]$$

$$A_TK02=(\pi*D_TK02^{(2)})/4$$

Para finalizar se muestran los resultados obtenidos en el EES:

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

Amf01 = 1,257 [m ²]	Amf02 = 1,257 [m ²]	Acarcasa,E01 = 152,7 [m ²]	Acarcasa,E02 = 465 [m ²]	Acarcasa,E03 = 125,6 [m ²]	Acarcasa,E04 = 395,9 [m ²]	Acarcasa,E05 = 142,8 [m ²]	Acarcasa,E07 = 897,6 [m ²]	Acarcasa,E08 = 141,8 [m ²]
ACA,01 = 11,43	AE01 = 305,3	AE02 = 2790	AE03 = 125,6	AE04 = 2375	AE05 = 857	AE07 = 5385	AE08 = 425,5	AF01 = 318,2 [s/m]
AF02 = 259,3 [s/m]	ATK01 = 490,9 [m ²]	ATK02 = 407,8	CapacidadTK01 = 0,86	CapacidadTK02 = 0,86	CapacidadTotalTK01 = 6379 [m ²]	CapacidadTotalTK02 = 12234	CaudalR01 = 33793	CaudalR01,def = 1542
CP116 = 2,517	CP119 = 2,678	CP16 = 3,437	CP17 = 3,33	CP18 = 2,672	CP19 = 2,515	CP1,23 = 2,609	CP216 = 0,9384	CP219 = 1,064
CP26 = 1,072	CP27 = 1,064	CP28 = 0,9952	CP29 = 0,9715	CP316 = 1,052	CP319 = 1,14	CP36 = 1,151	CP37 = 1,14	CP38 = 1,072
CP39 = 1,059	CP416 = 1,052	CP419 = 1,14	CP46 = 1,151	CP47 = 1,14	CP48 = 1,072	CP49 = 1,059	CP516 = 4,192	CP519 = 2,22
CP56 = 2,247	CP57 = 2,215	CP58 = 2,107	CP59 = 2,198	CP5,48 = 4,183	CP5,4849 = 4,185	CP5,49 = 4,187	CP5,5859 = 4,385	CP5,61 = 4,856
CP5,6162 = 3,657	CP5,62 = 2,457	CP5,63 = 4,856	CP5,6364 = 3,657	CP5,64 = 2,457	CP616 = 0,9942	CP619 = 0,9915	CP66 = 1,112	CP67 = 1,103
CP68 = 1,038	CP69 = 1,02	CP716 = 0,8486	CP719 = 0,824	CP77 = 1,113	CP78 = 0,9962	CP79 = 0,9502	CP816 = 0,8486	CP819 = 0,824
CP87 = 1,113	CP88 = 0,9962	CP89 = 0,9502	CPE02 = 1,027	CPE03 = 1,255	CPE04 = 1,242	CPE05 = 1,17	CPE07 = 1,166	CPE08 = 1,045
CPmed,19 = 1,144	CNH3,0 = 7,055E-34	CO2,0 = 18,48	δHp01 = 1,301E+06	δHp01,def = 132758	δHp02 = 0,005961	δHp02,def = 0,0006083	δHp03 = 3598	δHp03,def = 367,2
δHp04 = 489,8	δHp04,def = 49,98	δYR01 = 0,02 [m/h]	δh,13 = 5045	δh,14 = 5233	δh,15 = 6421	δh,16 = 6421	δh,225 = 9,197	δh,226 = 9,197
δh,237 = 223,8	δh,24 = 212,8	δh,25 = 619,7	δh,26 = 619,7	δh,325 = 10,41	δh,326 = 10,41	δh,337 = 248,1	δh,34 = 236,3	δh,35 = 672
δh,36 = 672	δh,525 = 15920	δh,526 = 15920	δh,537 = 18733	δh,54 = 18708	δh,55 = 19573	δh,56 = 19573	δh,65 = -2394	δh,66 = -2394
DTmf01 = 0,4 [m]	DTmf02 = 0,4 [m]	DTLME01 = 72,06	DTLME02 = 49,8	DTLME03 = 312,3	DTLME04 = 118,5	DTLME05 = 130,4	DTLME07 = 95,74	DTLME08 = 23,27
DCA,01 = 3,816	Dext,E01 = 0,0635 [m]	Dext,E02 = 0,0635 [m]	Dext,E03 = 0,0635 [m]	Dext,E04 = 0,0635 [m]	Dext,E05 = 0,0635 [m]	Dext,E07 = 0,0635 [m]	Dext,E08 = 0,0635 [m]	Dint,E01 = 0,056 [m]
Dint,E02 = 0,056	Dint,E03 = 0,04081	Dint,E04 = 0,04081	Dint,E05 = 0,04081	Dint,E07 = 0,04081	Dint,E08 = 0,04081	DR01 = 0,7006	DR01 = 25 [m]	DTK02 = 22,79
F1 = 15762	F10 = 266362	F11 = 266362	F12 = 259108	F13 = 259108	F14 = 83333	F15 = 83333	F16 = 228947	F17 = 228948
F18 = 250736	F19 = 250736	F2 = 15762	F20 = 250736	F21 = 250736	F25 = 307500	F26 = 307500	F27 = 153750	F28 = 153750
F29 = 307500	F3 = 15762	F30 = 307500	F31 = 153750	F32 = 153750	F33 = 307500	F34 = 53812	F35 = 53812	F36 = 253687
F37 = 253687	F4 = 269449	F5 = 269449	F6 = 269449	F7 = 269449	F8 = 269448	F9 = 266361	F9 = 266361	F9 = 266361
Fsext,E03 = 0,00205 [m ² *K/W]	Fsext,E04 = 0,00205 [m ² *K/W]	Fsext,E05 = 0,00205 [m ² *K/W]	Fsext,E07 = 0,00205 [m ² *K/W]	Fsext,E08 = 0,00205 [m ² *K/W]	Fsext,E01 = 0 [m ² *K/W]	Fsext,E02 = 0 [m ² *K/W]	Fsext,E03 = 0 [m ² *K/W]	Fsext,E04 = 0 [m ² *K/W]
Fsint,E05 = 0 [m ² *K/W]	Fsint,E07 = 0 [m ² *K/W]	Fsint,E08 = 0 [m ² *K/W]	F101 = 0	F1010 = 48452	F1011 = 48452	F1012 = 50000	F1013 = 50000	F1014 = 50000
F1015 = 50000	F1016 = 0	F1017 = 0	F1018 = 0	F1019 = 0	F102 = 0	F1020 = 0	F1021 = 0	F1025 = 0
F1026 = 0	F1027 = 0	F1028 = 0	F1029 = 0	F103 = 0	F1030 = 0	F1031 = 0	F1032 = 0	F1033 = 0
F1034 = 0	F1035 = 0	F1036 = 0	F1037 = 0	F104 = 0	F105 = 0	F106 = 0	F107 = 0	F108 = 0
F109 = 0	F11 = 15762	F110 = 0	F111 = 0	F112 = 0	F113 = 0	F114 = 0	F115 = 0	F116 = 0
F117 = 0	F118 = 0	F119 = 0	F12 = 15762	F120 = 0	F121 = 0	F125 = 0	F126 = 0	F127 = 0
F128 = 0	F129 = 0	F13 = 15762	F130 = 0	F131 = 0	F132 = 0	F133 = 0	F134 = 0	F135 = 0
F136 = 0	F137 = 0	F14 = 15762	F15 = 0	F16 = 0	F17 = 0	F18 = 0	F19 = 0	F21 = 0
F210 = 1316	F211 = 1316	F212 = 910	F213 = 910	F214 = 0	F215 = 0	F216 = 13020	F217 = 13015	F218 = 13146
F219 = 13146	F22 = 0	F220 = 13146	F221 = 13146	F225 = 69803	F226 = 69803	F227 = 34901	F228 = 34901	F229 = 69803
F23 = 0	F230 = 69803	F231 = 34901	F232 = 34901	F233 = 69803	F234 = 12215	F235 = 12215	F236 = 57587	F237 = 57587
F24 = 57587	F25 = 21241	F26 = 21241	F27 = 20818	F28 = 19451	F29 = 15760	F31 = 0	F310 = 190686	F311 = 190686
F312 = 171618	F313 = 171618	F314 = 0	F315 = 0	F316 = 211929	F317 = 211929	F318 = 230997	F319 = 230997	F32 = 0
F320 = 230997	F321 = 230997	F325 = 230348	F326 = 230348	F327 = 115174	F328 = 115174	F329 = 230348	F33 = 0	F330 = 230348

Figura 64 Resultados obtenidos en el EES. Fuente Propia.

F ₃₃₁ = 115174	F ₃₃₂ = 115174	F ₃₃₃ = 230348	F ₃₃₄ = 40311	F ₃₃₅ = 40311	F ₃₃₆ = 190037	F ₃₃₇ = 190037	F ₃₄ = 190037	F ₃₅ = 190686
F ₃₆ = 190686	F ₃₇ = 190686	F ₃₈ = 190686	F ₃₉ = 190686	F ₄₁ = 0	F ₄₁₀ = 3044	F ₄₁₁ = 3044	F ₄₁₂ = 2740	F ₄₁₃ = 2740
F ₄₁₄ = 0	F ₄₁₅ = 0	F ₄₁₆ = 3386	F ₄₁₇ = 3386	F ₄₁₈ = 3690	F ₄₁₉ = 3690	F ₄₂ = 0	F ₄₂₀ = 3690	F ₄₂₁ = 3690
F ₄₂₅ = 3690	F ₄₂₆ = 3690	F ₄₂₇ = 1845	F ₄₂₈ = 1845	F ₄₂₉ = 3690	F ₄₃ = 0	F ₄₃₀ = 3690	F ₄₃₁ = 1845	F ₄₃₂ = 1845
F ₄₃₃ = 3690	F ₄₃₄ = 646	F ₄₃₅ = 646	F ₄₃₆ = 3044	F ₄₃₇ = 3044	F ₄₄ = 3044	F ₄₅ = 3044	F ₄₆ = 3044	F ₄₇ = 3044
F ₄₈ = 3044	F ₄₉ = 3044	F ₅₁ = 0	F ₅₁₀ = 21131	F ₅₁₁ = 21131	F ₅₁₂ = 33333	F ₅₁₃ = 33333	F ₅₁₄ = 33333	F ₅₁₅ = 33333
F ₅₁₆ = 0	F ₅₁₇ = 0	F ₅₁₈ = 2113	F ₅₁₉ = 2113	F ₅₂ = 0	F ₅₂₀ = 2113	F ₅₂₁ = 2113	F ₅₂₅ = 3659	F ₅₂₆ = 3659
F ₅₂₇ = 1830	F ₅₂₈ = 1830	F ₅₂₉ = 3659	F ₅₃ = 0	F ₅₃₀ = 3659	F ₅₃₁ = 1830	F ₅₃₂ = 1830	F ₅₃₃ = 3659	F ₅₃₄ = 640
F ₅₃₅ = 640	F ₅₃₆ = 3019	F ₅₃₇ = 3019	F ₅₄ = 3019	F ₅₄₈ = 17676 [kg/día]	F ₅₄₉ = 17676	F ₅₅ = 28053	F ₅₅₄ = 5000 [kg/día]	F ₅₅₆ = 5000
F ₅₅₇ = 5000	F ₅₅₈ = 36014	F ₅₅₉ = 36014	F ₅₆ = 28053	F ₅₆₁ = 36014	F ₅₆₂ = 36014	F ₅₆₃ = 249220	F ₅₆₄ = 249220	F ₅₇ = 28053
F ₅₈ = 28053	F ₅₉ = 28053	F _{5refr,ent,CA01} = 5000 [kg/día]	F _{5refr,sal,CA01} = 5000	F ₆₁ = 0	F ₆₁₀ = 601	F ₆₁₁ = 601	F ₆₁₂ = 396	F ₆₁₃ = 396
F ₆₁₄ = 0	F ₆₁₅ = 0	F ₆₁₆ = 198	F ₆₁₇ = 188	F ₆₁₈ = 248	F ₆₁₉ = 248	F ₆₂ = 0	F ₆₂₀ = 248	F ₆₂₁ = 248
F ₆₂₅ = 0	F ₆₂₆ = 0	F ₆₂₇ = 0	F ₆₂₈ = 0	F ₆₂₉ = 0	F ₆₃ = 0	F ₆₃₀ = 0	F ₆₃₁ = 0	F ₆₃₂ = 0
F ₆₃₃ = 0	F ₆₃₄ = 0	F ₆₃₅ = 0	F ₆₃₆ = 0	F ₆₃₇ = 0	F ₆₄ = 0	F ₆₅ = 26425	F ₆₆ = 26425	F ₆₇ = 25632
F ₆₈ = 23069	F ₆₉ = 16148	F ₇₁ = 0	F ₇₁₀ = 647	F ₇₁₁ = 647	F ₇₁₂ = 89	F ₇₁₃ = 89	F ₇₁₄ = 0	F ₇₁₅ = 0
F ₇₁₆ = 235	F ₇₁₇ = 13	F ₇₁₈ = 77	F ₇₁₉ = 77	F ₇₂ = 0	F ₇₂₀ = 77	F ₇₂₁ = 77	F ₇₂₅ = 0	F ₇₂₆ = 0
F ₇₂₇ = 0	F ₇₂₈ = 0	F ₇₂₉ = 0	F ₇₃ = 0	F ₇₃₀ = 0	F ₇₃₁ = 0	F ₇₃₂ = 0	F ₇₃₃ = 0	F ₇₃₄ = 0
F ₇₃₅ = 0	F ₇₃₆ = 0	F ₇₃₇ = 0	F ₇₄ = 0	F ₇₅ = 0	F ₇₆ = 0	F ₇₇ = 1216	F ₇₈ = 3087	F ₇₉ = 6367
F ₈₁ = 0	F ₈₁₀ = 485	F ₈₁₁ = 485	F ₈₁₂ = 22	F ₈₁₃ = 22	F ₈₁₄ = 0	F ₈₁₅ = 0	F ₈₁₆ = 179	F ₈₁₇ = 417
F ₈₁₈ = 465	F ₈₁₉ = 465	F ₈₂ = 0	F ₈₂₀ = 465	F ₈₂₁ = 465	F ₈₂₅ = 0	F ₈₂₆ = 0	F ₈₂₇ = 0	F ₈₂₈ = 0
F ₈₂₉ = 0	F ₈₃ = 0	F ₈₃₀ = 0	F ₈₃₁ = 0	F ₈₃₂ = 0	F ₈₃₃ = 0	F ₈₃₄ = 0	F ₈₃₅ = 0	F ₈₃₆ = 0
F ₈₃₇ = 0	F ₈₄ = 0	F ₈₅ = 0	F ₈₆ = 0	F ₈₇ = 0	F ₈₈ = 2058	F ₈₉ = 6303	F ₉₁ = 0	F ₉₁₀ = 0
F ₉₁₁ = 0	F ₉₁₂ = 0	F ₉₁₃ = 0	F ₉₁₄ = 0	F ₉₁₅ = 0	F ₉₁₆ = 0	F ₉₁₇ = 0	F ₉₁₈ = 0	F ₉₁₉ = 0
F ₉₂ = 0	F ₉₂₀ = 0	F ₉₂₁ = 0	F ₉₂₅ = 0	F ₉₂₆ = 0	F ₉₂₇ = 0	F ₉₂₈ = 0	F ₉₂₉ = 0	F ₉₃ = 0
F ₉₃₀ = 0	F ₉₃₁ = 0	F ₉₃₂ = 0	F ₉₃₃ = 0	F ₉₃₄ = 0	F ₉₃₅ = 0	F ₉₃₆ = 0	F ₉₃₇ = 0	F ₉₄ = 0
F ₉₅ = 0	F ₉₆ = 0	F ₉₇ = 0	F ₉₈ = 0	F ₉₉ = 0	F _{CA,01} = 500310	F _{E01} = 0,97	F _{E02} = 1	F _{E03} = 0,97
F _{E04} = 1	F _{E05} = 1	F _{E07} = 1	F _{E08} = 0,98	HF = 8000 [horas]	h ₁₀₁₀ = -2056	h _{1010f} = -2693	h ₁₀₁₁ = -2056	h _{1011f} = -2693
h ₁₀₁₂ = -2105	h _{1012f} = -2742	h ₁₀₁₃ = -2105	h _{1013f} = -2742	h ₁₀₁₄ = -2099	h _{1014f} = -2735	h ₁₁₀ = 1691	h _{110f} = -4579	h ₁₁₁ = 1691
h _{111f} = -4579	h ₁₁₂ = 1550	h _{112f} = -4720	h ₁₁₃ = 1520	h _{113f} = -4750	h ₁₁₆ = 1634	h _{116f} = -4637	h ₁₁₇ = 1595	h _{117f} = -4675
h ₁₁₈ = 246,8	h _{118f} = -6023	h ₁₁₉ = 1558	h _{119f} = -4712	h ₁₂₀ = 1936	h _{120f} = -4334	h ₁₂₁ = 3091	h _{121f} = -3179	h ₁₃ = 1868
h ₁₄ = 2056	h _{14f} = -4214	h ₁₅ = 3244	h _{15f} = -3026	h ₁₆ = 3244	h _{16f} = -3026	h ₁₇ = 3079	h _{17f} = -3192	h ₁₈ = 2191
h _{18f} = -4079	h _{19f} = 1984	h _{19f} = -4287	h ₂₁₀ = 68,11	h _{210f} = 68,41	h ₂₁₁ = 68,11	h _{211f} = 68,41	h ₂₁₂ = 18,96	h _{212f} = -19,26
h ₂₁₃ = 17,9	h _{213f} = 18,2	h ₂₁₆ = 48,92	h _{216f} = 49,22	h ₂₁₇ = 34,86	h _{217f} = 35,16	h ₂₁₈ = -16,51	h _{218f} = -16,22	h ₂₁₉ = 20,92

Figura 65 Resultados obtenidos en el EES.

h _{219f} = 21,21	h ₂₂₀ = 165,5	h _{220f} = 165,8	h ₂₂₁ = 571,3	h _{221f} = 571,6	h ₂₂₅ = 8,903	h ₂₂₆ = 8,903	h ₂₃₅ = 48,51	h _{235f} = 48,8
h ₂₃₆ = 178	h _{236f} = 178,3	h ₂₃₇ = 223,5	h _{237f} = 223,8	h ₂₄ = 212,5	h _{24f} = 212,8	h ₂₅ = 619,4	h _{25f} = 619,7	h ₂₆ = 619,4
h _{26f} = 619,7	h ₂₇ = 567	h _{27f} = 567,3	h ₂₈ = 261,3	h _{28f} = 261,6	h ₂₉ = 182,7	h _{29f} = 183	h ₃₁₀ = 386,6	h _{310f} = 77,32
h ₃₁₁ = 386,6	h _{311f} = 77,32	h ₃₁₂ = 331,5	h _{312f} = 22,27	h ₃₁₃ = 330,6	h _{313f} = 21,35	h ₃₁₆ = 365,2	h _{316f} = 55,96	h ₃₁₇ = 349,4
h _{317f} = 40,17	h ₃₁₈ = 291,4	h _{318f} = -17,85	h ₃₁₉ = 333,7	h _{319f} = 24,45	h ₃₂₀ = 494,3	h _{320f} = 185	h ₃₂₁ = 929,8	h _{321f} = 620,6
h ₃₂₅ = 319,7	h ₃₂₆ = 319,7	h ₃₃₅ = 364,9	h _{335f} = 55,61	h ₃₃₆ = 508	h _{336f} = 198,8	h ₃₃₇ = 557,4	h _{337f} = 248,1	h ₃₄ = 545,5
h _{34f} = 236,3	h ₃₅ = 981,3	h _{35f} = 672	h ₃₆ = 981,3	h _{36f} = 672	h ₃₇ = 925,2	h _{37f} = 615,9	h ₃₈ = 598,1	h _{38f} = 288,9
h ₃₉ = 512,9	h _{39f} = 203,7	h ₅₁₀ = 419,6	h _{510f} = -15563	h ₅₁₁ = 419,6	h _{511f} = -15563	h ₅₁₂ = 201,8	h _{512f} = -15781	h ₅₁₃ = 202,3
h _{513f} = -15780	h ₅₁₄ = 231,1	h _{514f} = -15752	h ₅₁₆ = 335,7	h _{516f} = -15647	h ₅₁₇ = 272,9	h _{517f} = -15710	h ₅₁₈ = 42,96	h _{518f} = -15940
h ₅₁₉ = 210,1	h _{519f} = -15772	h ₅₂₀ = 2836	h _{520f} = -13147	h ₅₂₁ = 3698	h _{521f} = -12284	h ₅₂₅ = 146,7	h ₅₂₆ = 146,7	h ₅₃₅ = 335,9
h _{535f} = -15647	h ₅₃₆ = 2852	h _{536f} = -13131	h ₅₃₇ = 2960	h _{537f} = -13023	h ₅₄ = 2935	h ₅₄₈ = 210,1	h _{548f} = -15772	h ₅₄₉ = 293,1
h _{549f} = -15690	h _{54f} = -13048	h ₅₅ = 3800	h _{554f} = 29,51	h _{554f} = -15953	h ₅₅₆ = 29,51	h _{556f} = -15953	h ₅₅₇ = 167,6	h _{557f} = -15815
h _{55f} = -12182	h ₅₆ = 3800	h ₅₆₁ = 1085	h _{561f} = -14897	h ₅₆₂ = 3127	h _{562f} = -12856	h ₅₆₃ = 1085	h _{563f} = -14897	h ₅₆₄ = 3127
h _{564f} = -12856	h _{56f} = -12182	h ₅₇ = 3691	h _{57f} = -12291	h ₅₈ = 3057	h _{58f} = -12925	h ₅₉ = 2886	h _{59f} = -13097	h _{5f,agua,refrig,sal,CA01} = -15899
h _{5f,agua,refrig,sal,CA01} = -15815	h _{5,agua,refrig,ent,CA01} = 83,93	h _{5,agua,refrig,sal,CA01} = 167,6	h ₆₁₀ = 3116	h _{610f} = 3118	h ₆₁₁ = 3116	h _{611f} = 3118	h ₆₁₂ = 3064	h _{612f} = 3066
h ₆₁₃ = 3064	h _{613f} = 3066	h ₆₁₆ = 3096	h _{616f} = 3098	h ₆₁₇ = 3081	h _{617f} = 3083	h ₆₁₈ = 3027	h _{618f} = 3028	h ₆₁₉ = 3066
h _{619f} = 3068	h ₆₂₀ = 3219	h _{620f} = 3221	h ₆₂₁ = 3641	h _{621f} = 3643	h ₆₅ = 3691	h _{65f} = 3693	h ₆₆ = 3691	h _{66f} = 3693
h ₆₇ = 3637	h _{67f} = 3638	h ₆₈ = 3319	h _{68f} = 3321	h ₆₉ = 3237	h _{69f} = 3239	h ₇₁₀ = 805,8	h _{710f} = 784,3	h ₇₁₁ = 805,8
h _{711f} = 784,3	h _{712f} = 761,9	h _{712f} = 740,4	h _{713f} = 761,9	h _{713f} = 740,4	h ₇₁₆ = 788,6	h _{716f} = 767,2	h _{717f} = 776	h _{717f} = 754,5
h ₇₁₈ = 731,2	h _{718f} = 709,8	h ₇₁₉ = 763,5	h _{719f} = 742,1	h ₇₂₀ = 898,3	h _{720f} = 876,8	h ₇₂₁ = 1311	h _{721f} = 1290	h ₇₇ = 1307
h _{77f} = 3615	h ₇₈ = 992,8	h _{78f} = 971,3	h ₇₉ = 914,9	h _{79f} = 893,4	h ₈₁₀ = 188,9	h _{810f} = 188,8	h ₈₁₁ = 188,9	h _{811f} = 188,8
h ₈₁₂ = 140,9	h _{812f} = 140,8	h ₈₁₃ = 140,9	h _{813f} = 140,8	h ₈₁₆ = 170	h _{816f} = 169,9	h ₈₁₇ = 156,2	h _{817f} = 156,1	h ₈₁₈ = 108
h _{818f} = 107,9	h ₈₁₉ = 142,7	h _{819f} = 142,6	h ₈₂₀ = 292,1	h _{820f} = 292	h ₈₂₁ = 760	h _{821f} = 759,9	h ₈₈ = 398,8	h _{88f} = 398,7
h ₈₉ = 310,7	h _{89f} = 310,6	h _{amb1} = 1547	h _{amb10} = -2125	h _{amb2} = -0,2937	h _{amb3} = 309,3	h _{amb5} = 104,8	h _{amb6} = 3042	h _{amb7} = 743,2
h _{amb8} = 120,7	H _{CA,01} = 10 [m]	h _{ext,E01} = 5,474	h _{ext,E02} = 5,474	h _{ext,E03} = 5,474	h _{ext,E04} = 5,474	h _{ext,E05} = 5,474	h _{ext,E07} = 5,474	h _{ext,E08} = 5,474
h _{int,E01} = 39,7	h _{int,E02} = 27,62	h _{int,E03} = 104,4	h _{int,E04} = 54,26	h _{int,E05} = 91,96	h _{int,E07} = 33,79	h _{int,E08} = 69,89	H _{R01} = 4,02 [m]	h _{ref1} = -4724 [kJ/mol]
h _{ref10} = -2762 [kg/kJ]	h _{ref2} = 0 [kJ/kg]	h _{ref3} = 0 [kJ/kg]	h _{ref5} = -15878 [kJ/mol]	h _{ref6} = 3043 [kJ/mol]	h _{ref7} = 721,7 [kg/kJ]	h _{ref8} = 120,7 [kg/kJ]	H _{refrig,E02,ent} = 104,8	H _{refrig,E02,sal} = 2676
H _{refrig,E07,ent} = 104,8	H _{refrig,E07,sal} = 2676	H _{TK01} = 12,99	H _{TK02} = 10 [m]	H _{total,26} = 308,5	H _{total,29} = 476	H _{total,29s} = 442,5	H _{total,30} = 318,1	H _{total,33} = 491,2
H _{total,33s} = 456,6	k ₁₁₆ = 0,0318	k ₁₆ = 0,04646	k ₁₇ = 0,06299	k ₁₈ = 0,06516	k ₁₉ = 0,05244	k ₂₁₆ = 0,03091	k ₂₆ = 0,067	k ₂₇ = 0,06418
k ₂₈ = 0,04607	k ₂₉ = 0,04076	k ₃₁₆ = 0,02996	k ₃₆ = 0,06148	k ₃₇ = 0,05907	k ₃₈ = 0,04343	k ₃₉ = 0,03876	k ₄₁₆ = 0,02996	k ₄₆ = 0,06148
k ₄₇ = 0,05907	k ₄₈ = 0,04343	k ₄₉ = 0,03876	k ₅₁₆ = 0,6566	k ₅₆ = 0,08626	k ₅₇ = 0,07974	k ₅₈ = 0,04445	k ₅₉ = 0,03736	k ₆₁₆ = 0,02956
k ₆₆ = 0,06449	k ₆₇ = 0,062	k ₆₈ = 0,04478	k ₆₉ = 0,03949	k ₇₁₆ = 0,02134	k ₇₇ = 0,06132	k ₇₈ = 0,03992	k ₇₉ = 0,03949	k ₈₁₆ = 0,02134
k ₈₇ = 0,06132	k ₈₈ = 0,03992	k ₈₉ = 0,03949	k _{E01} = 0,6074	k _{E02} = 0,03832	k _{E03} = 0,06479	k _{E04} = 0,0619	k _{E05} = 0,04378	k _{E07} = 0,03881
k _{E08} = 0,03	Lm _{F01} = 1 [m]	Lm _{F02} = 1 [m]	L _{E01} = 1,701 [m]	L _{E02} = 2,331 [m]	L _{E03} = 1,399 [m]	L _{E04} = 1,984 [m]	L _{E05} = 1,591 [m]	L _{E07} = 3 [m]

Figura 66 Resultados obtenidos en el EES.

$L_{E08} = 1,58$ [m]	$m1_{TK01} = 3,830E+06$	$m1_{TK02} = 166666$	$m_{agua,refrig,E02} = 18889$	$m_{agua,refrig,E07} = 68571$	$N_{mdef,F01} = 253$ [s/m ³]	$N_{mdef,F02} = 207$	$N_{mf01} = 253,3$ [s/m ³]	$N_{mf02} = 206,3$ [s/m ³]
$VE01 = 3,66$ [m]	$VE02 = 40,37$	$VE03 = 65,78$	$VE04 = 35,77$	$VE05 = 85,73$	$VE07 = 35,53$	$VE08 = 95,08$	$N_{carcasa,E01} = 2$	$N_{carcasa,E02} = 6$
$N_{carcasa,E03} = 1$	$N_{carcasa,E04} = 6$	$N_{carcasa,E05} = 6$	$N_{carcasa,E06} = 6$	$N_{carcasa,E08} = 3$	$NE02 = 0,4$	$NE03 = 0,4$	$NE04 = 0,4$	$NE05 = 0,4$
$NE07 = 0,4$	$NE08 = 0,4$	$N_{pasos,E01} = 4$	$N_{pasos,E02} = 4$	$N_{pasos,E03} = 4$	$N_{pasos,E04} = 4$	$N_{pasos,E05} = 4$	$N_{pasos,E07} = 4$	$N_{pasos,E08} = 4$
$n_{TK02} = 3$	$N_{hubos,E01} = 450$	$N_{hubos,E02} = 1000$	$N_{hubos,E03} = 450$	$N_{hubos,E04} = 1000$	$N_{hubos,E05} = 450$	$N_{hubos,E07} = 1500$	$N_{hubos,E08} = 450$	$P1 = 1$ [bar]
$P10 = 7,5$ [bar]	$P11 = 7,5$ [bar]	$P12 = 10$ [bar]	$P13 = 15$ [bar]	$P14 = 10$ [bar]	$P15 = 12$ [bar]	$P16 = 10$ [bar]	$P17 = 10$ [bar]	$P18 = 10$ [bar]
$P19 = 9,6$ [bar]	$P2 = 12,4$ [bar]	$P20 = 9,6$ [bar]	$P21 = 9,5$ [bar]	$P25 = 1$ [bar]	$P26 = 1$ [bar]	$P29 = 3,521$ [bar]	$P3 = 12,4$ [bar]	$P30 = 3,521$ [bar]
$P33 = 12,4$ [bar]	$P35 = 12,4$ [bar]	$P36 = 12,4$ [bar]	$P37 = 12,4$ [bar]	$P4 = 12,4$ [bar]	$P48 = 1$ [bar]	$P49 = 1$ [bar]	$P5 = 7,5$ [bar]	$P54 = 1$ [bar]
$P56 = 1$ [bar]	$P57 = 1$ [bar]	$P58 = 10$ [bar]	$P59 = 10$ [bar]	$P6 = 7,5$ [bar]	$P61 = 40$ [bar]	$P62 = 40$ [bar]	$P63 = 40$ [bar]	$P64 = 40$ [bar]
$P7 = 7,5$ [bar]	$P8 = 7,5$ [bar]	$P9 = 7,5$ [bar]	$P_{amb} = 1$ [bar]	$P_{otp01} = 259,9$	$P_{otp01,def} = 346,5$	$P_{otp02} = 260,8$	$P_{otp02,def} = 347,7$	$P_{otp03} = 10,79$
$P_{otp03,def} = 14,39$	$P_{otp04} = 10,79$	$P_{otp04,def} = 14,39$	$P_{refr,ent,CA01} = 1$ [bar]	$P_{refr,sal,CA01} = 1$ [bar]	$P_{refr,E01} = 0,871$	$P_{refr,E02} = 0,6989$	$P_{refr,E03} = 0,7689$	$P_{refr,E04} = 0,7668$
$P_{ref,E05} = 0,755$	$P_{ref,E07} = 0,7591$	$P_{ref,E08} = 0,7156$	$P_{ref,E01} = 0,893$	$P_{ref,E02} = 0,4278$	$P_{ref,E03} = 0,2892$	$P_{ref,E04} = 0,3301$	$P_{ref,E05} = 0,6099$	$P_{ref,E07} = 0,121$
$P_{ref,E08} = 0,8333$	$P_{refrig,E02,ent} = 1$ [bar]	$P_{refrig,E02,sal} = 1$ [bar]	$P_{refrig,E07,ent} = 1$ [bar]	$P_{refrig,E07,sal} = 1$ [bar]	$Q10 = 3176$	$Q10_{def} = 521617$	$Q12 = 1865$	$Q12_{def} = 0,02158$
$Q14 = 204,1$	$Q14_{def} = 0,002362$	$Q_{aCA01} = 457,4$	$Q_{11} = 17988$	$Q_{11,def} = 0,228$	$Q_{25,F02} = 3,447$	$Q_{5,F01} = 1,42$	$Q_{BL01} = 1,503E+07$	$Q_{BL01,def} = 190,5$
$Q_{CA01} = 1,809E+08$	$Q_{CA01,def} = 2292$	$Q_{E01} = 7,896E+06$	$Q_{E01,def} = 100,1$	$Q_{E02} = 4,856E+07$	$Q_{E02,def} = 615,5$	$Q_{E03} = 1,504E+07$	$Q_{E03,def} = 190,6$	$Q_{E04} = 1,041E+08$
$Q_{E04,def} = 1319$	$Q_{E05} = 4,374E+07$	$Q_{E05,def} = 554,3$	$Q_{E07} = 1,763E+08$	$Q_{E07,def} = 2234$	$Q_{E08} = 3,699E+06$	$Q_{E08,def} = 46,88$	$Q_{F01} = -2,275E-15$	$Q_{F01,def} = -2,883E-20$
$Q_{F02} = -2,082E-17$	$Q_{F02,def} = -2,638E-22$	$Q_{MX01} = 0$	$Q_{MX01,def} = 0$	$Q_{R01} = 6,625E+07$	$Q_{R01,def} = 839,7$	$rend_{is,C01} = 0,8$	$rend_{is,C02} = 0,8$	$rend_{p01} = 0,75$ [%]
$rend_{p02} = 0,75$ [%]	$rend_{p03} = 0,75$ [%]	$rend_{p04} = 0,75$ [%]	$Re_{E01} = 199,1$	$Re_{E02} = 13589$	$Re_{E03} = 23853$	$Re_{E04} = 11152$	$Re_{E05} = 33516$	$Re_{E07} = 11116$
$Re_{E08} = 39185$	$\rho1010 = 15,23$	$\rho1012 = 23,6$	$\rho1014 = 23,1$	$\rho10,11 = 15,23$	$\rho10,13 = 35,4$	$\rho10,TK02 = 7,924$	$\rho11 = 0,8762$	$\rho110 = 4,261$
$\rho112 = 6,958$	$\rho114 = 6,756$	$\rho12 = 659,2$	$\rho14 = 4,925$	$\rho210 = 7,735$	$\rho212 = 11,98$	$\rho214 = 11,73$	$\rho24 = 9,084$	$\rho2,11 = 7,742$
$\rho2,13 = 18,09$	$\rho2,17 = 11,42$	$\rho2,35 = 13,55$	$\rho310 = 6,772$	$\rho312 = 10,49$	$\rho314 = 10,27$	$\rho34 = 7,932$	$\rho3,11 = 6,761$	$\rho3,13 = 15,74$
$\rho3,17 = 9,956$	$\rho3,35 = 11,81$	$\rho410 = 6,772$	$\rho412 = 10,49$	$\rho414 = 10,27$	$\rho44 = 7,932$	$\rho4,11 = 6,761$	$\rho4,13 = 7,869$	$\rho4,17 = 9,956$
$\rho4,35 = 11,81$	$\rho4,def = 7,973$	$\rho510 = 958,7$	$\rho512 = 989,3$	$\rho514 = 986,1$	$\rho54 = 5,371$	$\rho5,11 = 958,7$	$\rho5,13 = 989,5$	$\rho5,35 = 972,3$
$\rho5,54 = 1000$	$\rho5,56 = 1000$	$\rho5,TK02 = 27,72$	$\rho610 = 7,254$	$\rho612 = 11,24$	$\rho614 = 11$	$\rho6,11 = 7,254$	$\rho6,13 = 16,86$	$\rho6,17 = 10,67$
$\rho710 = 11,12$	$\rho712 = 17,23$	$\rho714 = 16,86$	$\rho7,11 = 11,12$	$\rho7,13 = 25,84$	$\rho7,17 = 16,36$	$\rho810 = 22,24$	$\rho812 = 34,46$	$\rho814 = 33,73$
$\rho8,11 = 11,12$	$\rho8,13 = 25,84$	$\rho8,17 = 16,36$	$\rho_{aire,C01,ent} = 1,131$	$\rho_{aire,C01,sal} = 2,588$	$\rho_{aire,C02,ent} = 3,857$	$\rho_{aire,C02,sal} = 8,801$	$\rho_{cw,ent} = 998,2$	$\rho_{H2O,F01} = 1,775$
$\rho_{inertes,F01} = 2,745$	$\rho_{med,CA01} = 1094$	$\rho_{med,F01} = 2,406$	$\rho_{med,F02} = 1,131$	$\rho_{med,P02} = 83,87$	$\rho_{med,P03} = 139$	$\rho_{med,P04} = 408,3$	$\rho_{med,TK02} = 15,84$	$\rho_{N2,F01} = 2,745$
$\rho_{NH3,F01} = 1,674$	$\rho_{O2,F01} = 3,138$	$\rho_{R01} = 7,973$	$\rho_{TK01} = 698,2$ [kg/m ³]	$\rho_{NH3} = 19,89$	$Re_{E01} = 0,2604$	$Re_{E02} = 2,071$	$Re_{E03} = 0,429$	$Re_{E04} = 2,592$
$Re_{E05} = 0,5247$	$Re_{E07} = 1,6$	$Re_{E08} = 0,3$	$R_{gas} = 0,000082$ [bar*m ³ /mol*K]	$R_{ideal} = 8,314$ [J/mol*K]	$SV_{R01} = 200000$	$s26 = 6,897$	$s29s = 6,897$	$s30 = 6,567$
$s33s = 6,567$	$T1 = -33$ [°C]	$T10 = 100$ [°C]	$T11 = 100$	$T12 = 48$ [°C]	$T13 = 48$	$T14 = 55$ [°C]	$T15 = 55$	$T16 = 80$ [°C]
$T17 = 65$ [°C]	$T18 = 10$ [°C]	$T19 = 50$ [°C]	$T2 = -15$ [°C]	$T20 = 202,5$ [°C]	$T21 = 600$ [°C]	$T25 = 35$ [°C]	$T26 = 35$ [°C]	$T29 = 200,3$
$T3 = 177$ [°C]	$T30 = 45$ [°C]	$T33 = 215,6$	$T35 = 80$ [°C]	$T36 = 215,6$ [°C]	$T37 = 262$ [°C]	$T4 = 250,9$ [°C]	$T48 = 20$ [°C]	$T49 = 70$ [°C]
$T5 = 645$ [°C]	$T54 = 7$ [°C]	$T56 = 7$	$T57 = 40$ [°C]	$T58 = 200$ [°C]	$T59 = 150$ [°C]	$T6 = 645$	$T61 = 250$ [°C]	$T62 = 364,2$ [°C]
$T63 = 250$	$T64 = 364,2$ [°C]	$T7 = 596$ [°C]	$T8 = 300$ [°C]	$T9 = 220$ [°C]	$T_{amb} = 25$ [°C]	$T_{med23} = 81$	$T_{med589} = 175$	$T_{refr,ent,CA01} = 20$ [°C]

Figura 67 Resultados obtenidos en el EES.

$T_{refr,sal,CA01} = 40$ [°C]	$T_{refrig,E02,ent} = 25$ [°C]	$T_{refrig,E02,sal} = 100$ [°C]	$T_{refrig,E07,ent} = 25$ [°C]	$T_{refrig,E07,sal} = 100$ [°C]	$U_{E01} = 4,689$ [W/m ² *K]	$U_{E02} = 4,429$ [W/m ² *K]	$U_{E03} = 5,01$ [W/m ² *K]	$U_{E04} = 4,686$ [W/m ² *K]
$U_{E05} = 4,959$ [W/m ² *K]	$U_{E07} = 4,333$ [W/m ² *K]	$U_{E08} = 4,831$ [W/m ² *K]	$u_{ent,P01} = 1$ [m/s]	$u_{ent,P02} = 1$ [m/s]	$u_{ent,P03} = 1$ [m/s]	$u_{ent,P04} = 1$ [m/s]	$u_{sal,P01} = 1$ [m/s]	$u_{sal,P02} = 1$ [m/s]
$u_{sal,P03} = 1$ [m/s]	$u_{sal,P04} = 1$ [m/s]	$V_{TK01} = 5486$	$V_{gF01} = 4,774$	$V_{gF02} = 3,889$	$visc_{116} = 0,00001206$	$visc_{116} = 0,00003325$	$visc_{117} = 0,00003151$	$visc_{118} = 0,00002069$
$visc_{119} = 0,0000176$	$visc_{216} = 0,00002367$	$visc_{26} = 0,00004648$	$visc_{27} = 0,00004482$	$visc_{28} = 0,00003372$	$visc_{29} = 0,00003029$	$visc_{316} = 0,00002035$	$visc_{36} = 0,00003931$	$visc_{37} = 0,00003792$
$visc_{38} = 0,0000287$	$visc_{39} = 0,00002586$	$visc_{416} = 0,00002035$	$visc_{46} = 0,00003931$	$visc_{47} = 0,00003792$	$visc_{48} = 0,0000287$	$visc_{49} = 0,00002586$	$visc_{516} = 0,0003547$	$visc_{56} = 0,00003443$
$visc_{57} = 0,00003248$	$visc_{58} = 0,00002021$	$visc_{59} = 0,00001682$	$visc_{616} = 0,00002174$	$visc_{66} = 0,00004274$	$visc_{67} = 0,00004119$	$visc_{68} = 0,0000309$	$visc_{69} = 0,00002776$	$visc_{716} = 0,00001734$
$visc_{77} = 0,00004085$	$visc_{78} = 0,00002945$	$visc_{79} = 0,00002554$	$visc_{816} = 0,00001734$	$visc_{87} = 0,00004085$	$visc_{88} = 0,00002945$	$visc_{89} = 0,00002554$	$visc_{E01} = 0,0002028$	$visc_{E02} = 0,00002608$
$visc_{E03} = 0,0000397$	$visc_{E04} = 0,00003821$	$visc_{E05} = 0,00002826$	$visc_{E07} = 0,00002527$	$visc_{E08} = 0,00002054$	$V_{lineal,R01} = 4000$ [m/h]	$Vol_{CA01} = 114,3$ [m]	$v_{CA01} = 0,0005069$ [m/s]	$V_{def,TK02} = 4078$ [m]
$v_{E01} = 22$	$v_{E02} = 22$	$v_{E03} = 22$	$v_{E04} = 22$	$v_{E05} = 22$	$v_{E07} = 22$	$v_{E08} = 22$	$V_{R01} = 0,007709$ [m/h]	$V_{R01,def} = 1,55$ [m]
$V_{TK02} = 10521$	$W_{C01} = 652,8$	$W_{C02} = 674,7$	$w_{F01} = 0,015$ [m/s]	$w_{F02} = 0,015$ [m/s]	$x_{1010} = 0,1819$	$x_{1012} = 0,193$	$x_{1014} = 0,6$	$x_{1015} = 0,6$
$x_{10,11} = 0,1819$	$x_{10,13} = 0,193$	$x_{110} = 0$	$x_{112} = 0$	$x_{114} = 0$	$x_{116} = 0$	$x_{119} = 0$	$x_{14} = 0,0585$	$x_{15} = 3,009E-36$
$x_{16} = 3,009E-36$	$x_{17} = 3,009E-36$	$x_{18} = 0$	$x_{19} = 6,019E-36$	$x_{210} = 0,004941$	$x_{212} = 0,003512$	$x_{214} = 0$	$x_{216} = 0,05687$	$x_{219} = 0,05243$
$x_{24} = 0,2137$	$x_{25} = 0,07883$	$x_{26} = 0,07883$	$x_{27} = 0,07726$	$x_{28} = 0,07219$	$x_{29} = 0,05917$	$x_{2,11} = 0,004941$	$x_{2,13} = 0,003512$	$x_{2,17} = 0,05685$
$x_{2,35} = 0,227$	$x_{310} = 0,7159$	$x_{312} = 0,6623$	$x_{314} = 0$	$x_{316} = 0,9257$	$x_{319} = 0,9213$	$x_{34} = 0,7053$	$x_{35} = 0,7077$	$x_{36} = 0,7077$
$x_{37} = 0,7077$	$x_{38} = 0,7077$	$x_{39} = 0,7159$	$x_{3,11} = 0,7159$	$x_{3,13} = 0,6623$	$x_{3,17} = 0,9257$	$x_{3,35} = 0,7491$	$x_{410} = 0,01143$	$x_{412} = 0,01057$
$x_{414} = 0$	$x_{416} = 0,01479$	$x_{419} = 0,01472$	$x_{44} = 0,0113$	$x_{45} = 0,0113$	$x_{46} = 0,0113$	$x_{47} = 0,0113$	$x_{48} = 0,0113$	$x_{49} = 0,01143$
$x_{4,11} = 0,01143$	$x_{4,13} = 0,01057$	$x_{4,17} = 0,01479$	$x_{4,35} = 0,012$	$x_{510} = 0,07933$	$x_{512} = 0,1286$	$x_{514} = 0,4$	$x_{515} = 0,4$	$x_{516} = 0$
$x_{519} = 0,008427$	$x_{54} = 0,0112$	$x_{55} = 0,1041$	$x_{56} = 0,1041$	$x_{57} = 0,1041$	$x_{58} = 0,1041$	$x_{59} = 0,1053$	$x_{5,11} = 0,07933$	$x_{5,13} = 0,1286$
$x_{5,35} = 0,01189$	$x_{5,54} = 1$	$x_{5,56} = 1$	$x_{5,refrig,CA01} = 1$	$x_{610} = 0,002256$	$x_{612} = 0,001528$	$x_{614} = 0$	$x_{616} = 0,0008648$	$x_{619} = 0,0009891$
$x_{66} = 0,09807$	$x_{67} = 0,09513$	$x_{68} = 0,08562$	$x_{69} = 0,06062$	$x_{6,11} = 0,002256$	$x_{6,13} = 0,001528$	$x_{6,17} = 0,0008211$	$x_{710} = 0,002429$	$x_{712} = 0,0003435$
$x_{714} = 0$	$x_{716} = 0,001026$	$x_{719} = 0,0003071$	$x_{77} = 0,004513$	$x_{78} = 0,01146$	$x_{79} = 0,0239$	$x_{7,11} = 0,002429$	$x_{7,13} = 0,0003435$	$x_{7,17} = 0,00005678$
$x_{810} = 0,001821$	$x_{812} = 0,00008491$	$x_{814} = 0$	$x_{816} = 0,0007818$	$x_{819} = 0,001855$	$x_{87} = 3,009E-36$	$x_{88} = 0,007638$	$x_{89} = 0,02366$	$x_{8,11} = 0,001821$
$x_{8,13} = 0,00008491$	$x_{8,17} = 0,001821$	$x_{conv} = 0,9$						

Figura 68 Resultados obtenidos en el EES.