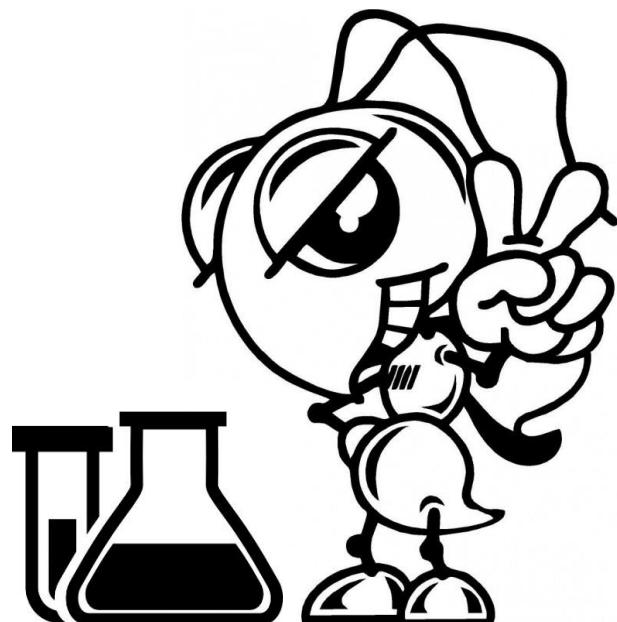


TRABAJO FINAL DE GRADO  
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO FÓRMICO



---

TUTOR: MARC PERIS  
**CAPSULE CORPORATION**  
PAULA GONZÀLVEZ  
ORIOL PASTOR  
SERGIO PEÑA  
IVAN SMIRNOV  
ANTONIO ZAFRA







# CAPÍTULO 1

## Introducción

Planta de producción de ácido fórmico



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	6
1.1.1 BASES DEL PROYECTO .....	6
1.1.2 ALCANCE DEL PROYECTO .....	7
1.1.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA .....	7
1.1.3.1 Parámetros de edificación .....	8
1.1.3.2 Contribuidores y comunicación .....	9
1.1.3.3 Climatología.....	10
1.1.3.4 Poblaciones cercanas .....	12
1.2 ABREVIACIONES.....	13
1.3 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS.....	15
1.3.1 MATERIA PRIMA .....	15
1.3.2 PRODUCTO.....	16
1.3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS DE PROCESO .....	17
1.4 CORROSIÓN Y MATERIALES .....	19
1.4.1 SUSTANCIAS CORROSIVAS UTILIZADAS .....	20
1.4.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL .....	22
1.4.3 CORROSIÓN EXTERNA .....	24
1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN .....	25
1.5.1 PRIMERA ETAPA: CARBONILACIÓN .....	26
1.5.2 SEGUNDA ETAPA: HIDRÓLISIS.....	27
1.5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES .....	27
1.5.4 DIAGRAMA DE PROCESO y descripción detallada .....	29
1.5.4.1 Descripción detallada del proceso .....	30
1.6 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA .....	34



1.6.1 DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS.....	35
1.7 SERVICIOS DE LA PLANTA .....	38
1.7.1 SERVICIOS DE FLUIDOS .....	38
1.7.1.1 Agua de red .....	38
1.7.1.2 Agua contra incendios.....	38
1.7.1.3 Agua descalcificada .....	38
1.7.1.4 Agua para refrigeración.....	41
1.7.1.5 Caldera de vapor .....	46
1.7.1.6 Metanol al 20% .....	49
1.7.1.7 Nitrógeno .....	50
1.7.1.8 Aire comprimido.....	53
1.7.2 SERVICIOS DE ENERGIA.....	54
1.7.2.1 Electricidad.....	54
1.7.3.2 Fueloil .....	56
1.8 BALANCES DE MATERIA .....	56
1.9 PLANTILLA DE TRABAJADORES .....	62
1.10 PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA .....	63
1.11 REFERENCIAS .....	65
1.11.1 BIBLIOGRAFÍA.....	65
1.11.2 WEBGRAFÍA.....	65



## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

El principal objetivo del proyecto es el estudio y viabilidad económica de la construcción de una planta de producción de ácido fórmico, generado a partir de la carbonización del metanol y una posterior hidrólisis del formiato de metilo obtenido.

El diseño de la planta, ubicada en Igualada, está ceñido en todo momento a la vigente normativa y legislación tanto urbanística como sectorial, a fin de que la seguridad de los empleados de ésta como de los civiles próximos a la planta no se vea afectada, además de respetar al medio ambiente.

### 1.1.1 BASES DEL PROYECTO

El diseño de la planta ha de asegurar la producción anual de 75000 Toneladas de ácido fórmico a granel en cisternas de 23 Tn, con una pureza del 90% en peso. La planta opera en continuo durante 300 días al año realizando una parada de mantenimiento en verano, en los meses de julio y agosto.

Unos de los ítems más importantes es el de la seguridad del proceso, de la planta y de los trabajadores, además de tener muy presente la posible contaminación del medio ambiente, teniendo en cuenta el riesgo del proceso químico, y las posibles consecuencias como: incendios, explosiones y fugas de las sustancias tóxicas o contaminantes del proceso.

El diseño de la planta incluye las siguientes unidades y áreas:

- Unidad de proceso y de reacción para la producción y purificación del ácido fórmico
- Unidad de almacenamiento de materias primas y estación de carga y descarga
- Almacenamiento del producto acabado
- Áreas de servicio
- Oficinas, laboratorios y vestuarios
- Áreas auxiliares (aparcamiento, control de accesos contra incendios y depuración de agua y gases).

### 1.1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Principalmente el proyecto abarca todos los temas relacionados con la producción de ácido fórmico, además del tratamiento de las aguas residuales generadas en el proceso.

A continuación se muestran los aspectos que a tener en cuenta en el presente proyecto:

- Diseño y especificaciones de todos los equipos, instrumentación, tuberías y válvulas presentes.
- Diseño del proceso, puesta en marcha de éste y operatividad habitual de la planta.
- Estudio económico de la viabilidad del proyecto, inversión inicial y beneficios que producirá cuando esté en funcionamiento.
- Cumplimiento de la normativa y legislación vigente tanto urbanística como sectorial.
- Análisis del impacto en el medio ambiente y cómo mitigar o evitar sus efectos.
- Adjuntar toda la información necesaria por tal de que se cumplan las normas de seguridad e higiene en la planta.

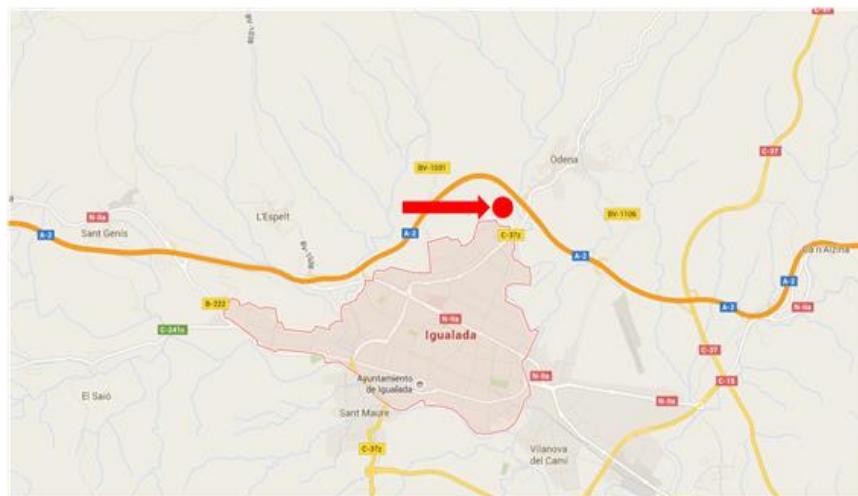
### 1.1.3 LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

A la hora de elegir una localización para una planta química es importante considerar varios factores. No solamente se consideran factores de producción como cuál es el producto y con qué se fabricará, hay que tener en cuenta el lugar donde se ubicará la planta según la meteorología de la zona, la población cercana o los contribuidores de la empresa.

La parcela en la cual se construirá la planta dispone de 16000 m<sup>2</sup> y está situada en el polígono industrial llamado “Clot del Bruixot” a menos de 1 km de distancia de la ciudad de Igualada. Esta ciudad española se encuentra en la provincia de Barcelona, siendo la capital de la comarca de Anoia. A continuación se muestra la ubicación exacta de la planta:



**Figura 1.1.3-a. Localización de la planta en mapa europeo**



**Figura 1.1.3-b. Localización de la planta exacta.**

### **1.1.3.1 Parámetros de edificación**

Para construir dentro del polígono hace falta seguir una serie de parámetros indicados a continuación:

**Tabla 1.1.3.1-a. Parámetros de edificación de la planta**

<b>Edificabilidad</b>	1,5 m <sup>2</sup> techo /m <sup>2</sup> suelo
<b>Ocupación máxima de parcela</b>	75% del terreno
<b>Ocupación mínima de parcela</b>	20% de la superficie de ocupación máxima
<b>Retranqueos</b>	5 m a vías y vecinos
<b>Altura máxima</b>	16m 3 plantas (excepto necesidades del proceso)
<b>Altura mínima</b>	4m y una planta
<b>Aparcamientos</b>	1 plaza/150m construidos
<b>Distancia entre edificios</b>	Un tercio del edificio más alto con un mínimo de 5m



### 1.1.3.2 Contribuidores y comunicación

A la hora de elegir suministradores de materias primas para el proceso y/o compradores del producto, es importante considerar también el grado de dificultad y/o peligro a la hora de transportar. Lo que por un lado conlleva a que la planta debe estar bien comunicada, y los contribuidores cuanto más cerca mejor.

En este caso la planta está comunicada vía carretera, y, en caso de que fuera necesario, vía aérea. Existe una vía ferroviaria de los Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) que atraviesa el centro de la ciudad de Igualada. Se podría considerar la posibilidad de construir una línea por fuera de la ciudad exclusivamente para la distribución de mercancías, pero esto conlleva a la compra de trenes especiales, ya que las vías de los FGC son más estrechas que las vías de la compañía Adif (Renfe) y vías internacionales. Por tanto en caso de que se quisiera llevar a cabo una construcción así, se tendría que hacer un proyecto especial que uniera las diferentes zonas que necesiten mercancías, considerando el impacto ambiental y económico que supondría una infraestructura de este calibre. Vía carretera la planta está comunicada con la carretera N-II. Es una carretera que une la frontera desde la Junquera y Madrid, pasando por Igualada. Es una carretera muy transitada y hábil para el transporte de material químico. Finalmente existe un aeródromo a menos de 3 km de la localización. Difícilmente se usaría este medio de transporte para transportar productos químicos, pero puede ser utilizado para transporte de personal en caso de emergencia, entre otros.

En la *Figura 1.1.3.2-a* se pueden ver las carreteras, red viaria, alrededor de Igualada. Se puede observar que está bien comunicada con Barcelona y otras ciudades de gran importancia en el sector industrial de la zona.

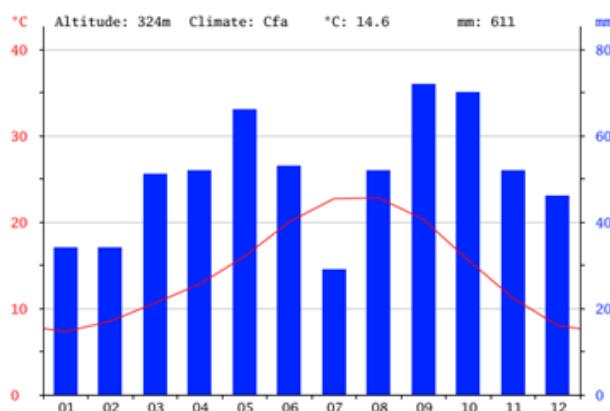


**Figura 1.1.3.2-a. Principales carreteras alrededor de Igualada.**

### 1.1.3.3 Climatología

El clima de la zona es importante sobre todo a la hora de elegir materiales y equipos, ya que un viento más o menos fuerte, o más o menos lluvia pueden variar considerablemente el diseño de la planta.

Igualada se encuentra a una altitud de 324 metros sobre el nivel del mar. El clima de la zona se considera cálido-templado. Según la clasificación Köppen-Geiger el clima de Igualada es Cfa (templado, con precipitaciones constantes sin estación seca, y temperaturas máximas durante el mes más cálido superiores a 22°C). En los gráficos siguientes se muestran las temperaturas medias (línea) y las precipitaciones (barras) de cada mes:



**Figura 1.1.3.3.a. Climograma de Igualada. La línea indica temperaturas (eje izquierdo) y las barras las precipitaciones (eje derecho)**

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	34	34	51	52	66	53	29	52	72	70	52	46
°C	7.3	8.5	10.6	12.8	16.0	20.0	22.7	22.8	20.3	15.6	11.2	8.0
°C (min)	4.0	4.7	6.6	8.5	11.7	15.7	18.4	18.6	16.4	12.0	7.8	5.1
°C (max)	10.6	12.3	14.6	17.1	20.4	24.3	27.1	27.0	24.2	19.3	14.6	11.0

Figura 1.1.3.3-b. Temperaturas media, máxima y mínima, y precipitaciones de cada mes.

La precipitación de lluvia anual no supera los 700 mm, que está dentro del clima Mediterráneo típico, que ronda entre los 400 y 700 mm anuales. El viento dominante proviene del noroeste que es continental, seco y frío en invierno y cálido en verano. También se da el viento de sureste que es más templado y puede traer lluvias.

No se han registrado datos extremos relevantes. Lo más relevante a considerar es la posible helada de la niebla durante la noche.

Otro factor importante a considerar es la actividad sísmica de la zona. En el mapa siguiente se muestran las intensidades registradas en diferentes zonas en un periodo de 500 años.

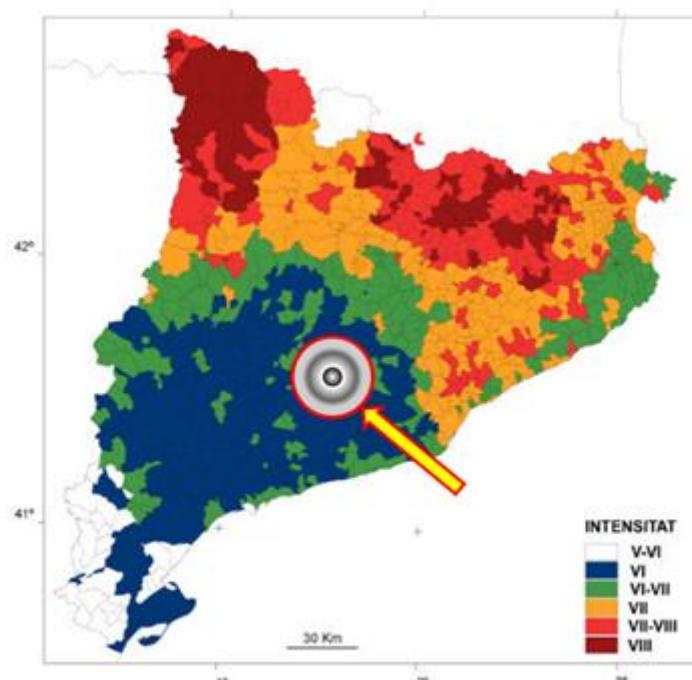


Figura 1.1.3.3-c. Mapa sísmico de Cataluña.



En el mapa se puede observar que alrededor la zona de Igualada la máxima intensidad registrada está entre VI-VII en la escala de Richter. Un terremoto de magnitud VII puede destruir zonas pobladas de hasta 120 km a la redonda. Este hecho nos indica que hay que considerar notablemente este factor a la hora de diseñar los equipos y edificios.

#### **1.1.3.4 Poblaciones cercanas**

La ciudad de Igualada contiene una población de 38751 personas. Dentro de ésta también se encuentran más de 160 entidades deportivas, más de 30 centros educativos y al menos 5 clínicas y centros hospitalarios.

Alrededor de Igualada se pueden encontrar pequeños pueblos y urbanizaciones, lo que la población total de la comarca de Anoia da sitio a más de 117000 habitantes.



## 1.2 ABREVIACIONES

En este apartado se especifican las abreviaciones de los fluidos de proceso y de servicio, de los equipos y de las áreas:

**Tabla 1.2-a. Abreviaciones de los fluidos de proceso y de servicio**

Tipos de fluido	Nomenclatura
<b>Metanol</b>	ME
<b>Monóxido de carbono</b>	CO
<b>Metóxido sódico</b>	MS
<b>Formiato de metilo</b>	FM
<b>Ácido fórmico</b>	AF
<b>Nitrógeno</b>	N
<b>Agua de proceso</b>	H <sub>2</sub> O
<b>Agua de torre</b>	AO
<b>Agua de red</b>	AR
<b>Aire comprimido</b>	AC
<b>Agua descalcificada</b>	ADC
<b>Fuel-oil</b>	FO
<b>Vapor</b>	V

**Tabla 1.2-b. Abreviaciones de las áreas**

Áreas	Nomenclatura
<b>Almacenamiento de reactivos</b>	A-100
<b>Reacción de carbonilación</b>	A-200
<b>Purificación de formiato de metilo</b>	A-300
<b>Reacción de hidrólisis</b>	A-400
<b>Purificación de ácido fórmico</b>	A-500
<b>Almacenamiento de ácido fórmico</b>	A-600
<b>Servicios</b>	A-700
<b>Seguridad y medio ambiente</b>	A-800



Tabla 1.2-c. Abreviaciones de los equipos

Equipos	Nomenclatura
<b>Reactor</b>	R
<b>Separador de fases</b>	F
<b>Columna de Absorción</b>	CA
<b>Columna de rectificación</b>	C
<b>Intercambiador de Calor</b>	EX
<b>Condensador</b>	CD
<b>Bomba</b>	P
<b>Separador</b>	SE
<b>Tanque</b>	T
<b>Mezclador</b>	M
<b>Reboiler</b>	RB
<b>Termosifón</b>	TS
<b>Compresor</b>	CP

## 1.3 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS COMPUESTOS

### 1.3.1 MATERIA PRIMA

#### Metanol / CH<sub>3</sub>OH

El metanol/ CH<sub>3</sub>OH, también conocido como alcohol metílico, es un compuesto, a temperatura ambiente, de aspecto líquido e incoloro, fácilmente inflamable y tóxico. Éste se descompone rápidamente, tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, por lo que lo convierte en un compuesto biodegradable.

Es utilizado normalmente como disolvente, combustible, anticongelante o como agente químico de proceso, ya sea haciendo el papel de materia prima o de intermedio. En la producción de ácido fórmico estudiada, su rol no será otro que el de materia prima a fin de obtener el intermedio formiato de metilo.

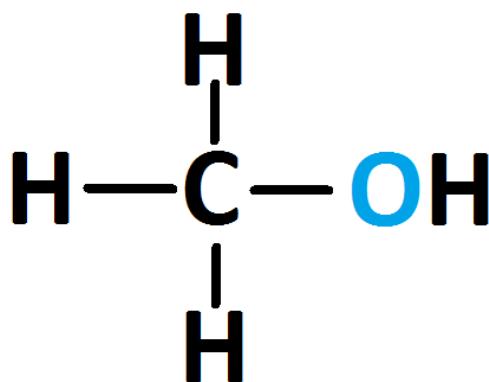


Figura 1.2.2-a. Estructura del metanol.

#### Monóxido de carbono / CO

El monóxido de carbono/CO, en condiciones ambientales, es un gas incoloro, inodoro, altamente tóxico e inflamable.

Es usado industrialmente como combustible o como agente reductor. En el proceso estudiado, se utiliza para carbonizar el metanol en unas determinadas condiciones y transformarlo en el intermedio mencionado anteriormente, formiato de metilo.



Figura 1.2.2-b. Estructura del monóxido de carbono

### 1.3.2 PRODUCTO

El ácido fórmico es una sustancia química que es natural y a su vez es sintetizada para su fin industrial. En la natura, comúnmente, se encuentra en las picaduras de insectos como hormigas y abejas. A pesar de que puede ser muy peligroso altamente concentrado, el ácido fórmico se utiliza muy frecuentemente en productos alimenticios como conservante y en los cultivos como pesticida.

Su uso es muy extendido en la industria como por ejemplo en la producción de cuero, en el proceso de teñido y acabado en el sector textil o en el proceso de fabricación de caucho. Un dato curioso del ácido fórmico es el uso de las sales que derivan de éste para combatir la capacidad de agarre de objetos en superficies lisas, como puede ser el agarre de las ruedas de los automóviles en carreteras heladas.

El ácido fórmico es un líquido incoloro, muy corrosivo con un fuerte olor (acre). Éste es un ácido orgánico formado por un solo átomo de carbono. Su fórmula molecular es  $\text{CH}_2\text{O}_2$ . Pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos, estos ácidos se caracterizan por poseer un grupo funcional llamado grupo carboxílico (-COOH). En este grupo funcional coinciden sobre el mismo carbono un grupo hidroxilo (-OH) y un carbonilo (-C=O). La estructura del ácido fórmico se muestra en la Figura 1.2.3.a:

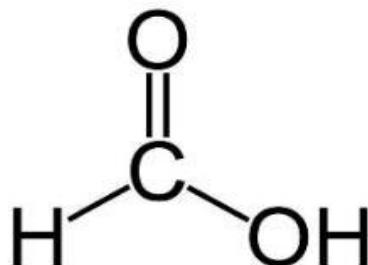


Figura 1.2.3-a Estructura del ácido fórmico

En la Tabla 1.2.3-a que se muestra a continuación se presentan las propiedades del ácido fórmico:

**Tabla 1.2.3-a. Propiedades del ácido fórmico**

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	46,026
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	8,4
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	100,7
Densidad a 20ºC (g/cm <sup>3</sup> )	1,22
Viscosidad a 20ºC (cP)	1,784
Calor latente de vaporización a la temperatura de ebullición (kJ/kg)	483
Entalpia de formación (kJ/mol)	377
Conductividad térmica 20ºC, (W/m/K)	0,226
Conductividad térmica a 50ºC, vapor (W/m/K)	0,0136
Presión crítica a 20ºC (kPa)	4,6

### 1.3.3 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS SUSTANCIAS DE PROCESO

#### Propiedades del metanol

**Tabla 1.2.4-a. Propiedades del metanol**

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	32,04
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	-97,8
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	65
Densidad a 20ºC (g/cm <sup>3</sup> )	798,1
Viscosidad a 20ºC (cP)	0,59
Presión crítica a 20ºC (atm)	81

## Propiedades del CO

Tabla 1.2.4-b. Propiedades del CO

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	28,01
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	-205,07
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	-191,05
Densidad a 20ºC (g/cm³)	4,362
Viscosidad a 20ºC (cP)	0,0165
Presión crítica a 20ºC (atm)	39,94

## Propiedades formiato de metilo

Tabla 1.2.4-c. Propiedades del formiato de metilo

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	60,05
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	-100
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	32
Densidad a 20ºC (g/cm³)	0,968
Viscosidad a 20ºC (cP)	0,361
Presión crítica a 20ºC (kPa)	64

## Propiedades agua

Tabla 1.2.4-d. Propiedades del agua

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	18,02
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	0
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	100
Densidad a 20ºC (g/cm³)	0,968
Viscosidad a 20ºC (cP)	0,9
Presión crítica a 20ºC (atm)	217,7

## Propiedades metóxido sódico

Tabla 1.2.4-e Propiedades del metóxido sódico

Propiedad	Valor
Peso molecular(g/mol)	54,03
Punto de fusión a presión atmosférica (ºC)	300
Punto de ebullición a presión atmosférica (ºC)	93
Densidad a 20ºC (g/cm³)	0,45

## 1.4 CORROSIÓN Y MATERIALES

En todos los procesos industriales siempre hay una gran inversión de capital en el mantenimiento de los equipos. La vida útil de éstos puede variar dependiendo del tipo y condiciones de proceso, las substancias con las que se trabaje y sobre todo el material que se ha elegido. Junto a todos los factores anteriores, hay cuatro que son clave, entre otros: temperatura de operación, esfuerzo mecánico, erosión y el más destacable en este caso, la corrosión.

La corrosión resulta ser uno de los factores principales que contribuyen al deterioro de los equipos y materiales en una planta química. En algunos casos el mantenimiento por corrosión ha supuesto un 8% del PIB estatal (Yucatán, 1998). Ahora la reparación y mantenimiento por corrosión puede rondar entre el 3 y el 4% del PIB estatal.



#### 1.4.1 SUSTANCIAS CORROSIVAS UTILIZADAS

A continuación se muestran las sustancias utilizadas en el proceso y los materiales químicamente incompatibles o con una compatibilidad pobre refiriéndose a la corrosión.

Tabla 1.4.1-a. Compatibilidad química con las sustancias utilizadas.

Sustancia	Incompatible (pobre)	Compatibilidad
<b>Metanol</b>	Viton Nordel Delrin	Latón Fundición de hierro 316 Acero inoxidable 304 Acero inoxidable
<b>Monóxido de carbono</b>	Nordel	Casi todo
<b>Formiato de metilo</b>	Polipropileno Bruna-N (NBR) Vitron (FPM)	Aluminio Fundición de hierro 304 Acero inoxidable 316 Acero inoxidable Neopreno (CR) Teflon (PTFE) Nordel (EPDM)
<b>Ácido fórmico</b>	Aluminio Fundición de hierro Neoprene (CR) Bruna-N (NBR) Latón	Vitrón PTFE PTFE Reforzado 316 Acero inoxidable 304 Acero inoxidable Teflonado

El metanol no es un material muy corrosivo, pero no se puede almacenar en contenedores de aluminio o plomo ya que los ataca lentamente. Un material recomendable por las fichas de seguridad para trabajar con metanol es el acero inoxidable 316.



El monóxido de carbono, a no ser que hidrolice y se convierta en ácido carbónico por ejemplo, no es muy corrosivo. Por tanto a la hora de elegir el material de las tuberías hay que tener en cuenta la presión a la circula.

En este caso la sustancia más corrosiva es el ácido fórmico. Éste será muy concentrado en la salida del proceso y en concentraciones bajas en la recirculación del proceso, por tanto es importante elegir el material adecuado. Aun así tampoco se pueden ignorar los demás componentes, ya que pueden no ser agresivos con un material por sí solos, pero cuando se juntan varias sustancias, pueden convertirse en más corrosivos. Incluso pueden corroer materiales que no corroen cuando están por separado.

En la tabla siguiente se pueden observar los diferentes materiales que se podrían usar para las tuberías, los equipos y los depósitos.

**Tabla 1.4.1-b. Nomenclatura para la tabla de compatibilidad.**

Nomenclatura	Descripción
A	Totalmente compatible con el fluido
B	Compatible, pero la resistencia al envejecimiento varía de acuerdo a las consecuencias y/o temperaturas
C	Desaconsejado
Z	Estudio de las necesidades necesario para cada proyecto

**Tabla 1.4.1-c. Tabla de compatibilidad del ácido fórmico:**

Compuesto / Descripción	Acero al Carbón	Acero Inox. 201	Acero Inox. 304	Acero Inox. 304L	Acero Inox. 316L	Acero Inox. 321	Acero Semi Duro	Fundición	Aluminio	Tumbaga	Asbesto	Neopreno	PVC	Nitrilo	P.T.F.E.
Ácido Fórmico, a todas las concentraciones, a 20° C.	Z	C	C	C	B	B	C	C	C	B	C	Z	C	Z	A
Ácido Fórmico, del 1 al 5%, en ebullición.	Z	C	C	C	B	B	C	C	C	B	C	Z	C	Z	A
Ácido Fórmico, al 10%, en ebullición.	Z	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
Ácido Fórmico, del 10 al 90%, en ebullición.	Z	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A
Ácido Fosfórico, del 1 al 85%, a 20° C.	C	B	A	A	B	A	C	C	C	C	C	Z	A	Z	A



## 1.4.2 SELECCIÓN DEL MATERIAL

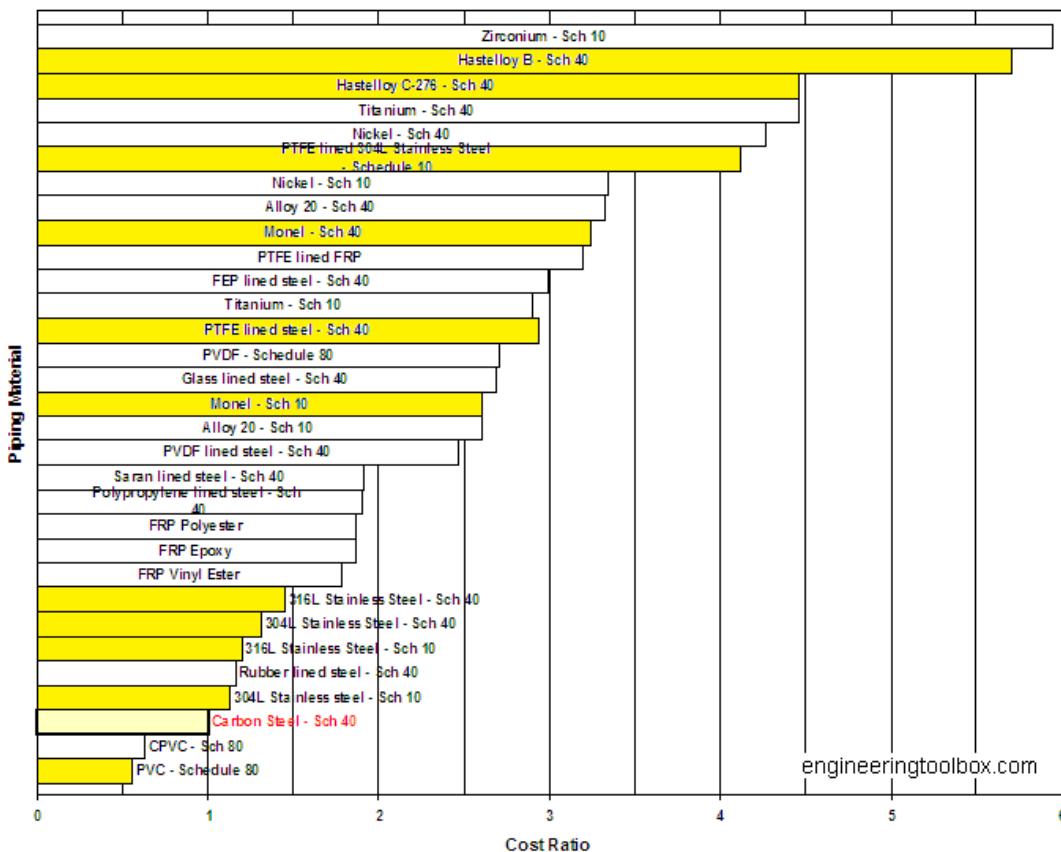
Para seleccionar los materiales con los que se trabajará hay que tener en cuenta la compatibilidad y el coste económico que van a suponer éstos.

De la tabla 1.4.1-c, se han podido sacar varias conclusiones:

- El material compatible con el ácido fórmico en todas las concentraciones y temperaturas es el acero inoxidable con revestimiento de teflón.
- A concentraciones inferiores a 85% a 20°C, los materiales compatibles son el acero inoxidable (304, 304L, 321) y el PVC.
- A concentraciones inferiores a 5% en ebullición, se podrían considerar los acero inoxidable 316L y 321.

Según otras fuentes el ácido fórmico también es compatible con otros metales como el bronce, durimet (aleación formada mayormente por Níquel y Cromo), monel (aleación de Níquel y Cobre), hastelloy B y hastelloy C (aleación de Níquel, Molibdeno, Cromo y Tungsteno).

En la siguiente imagen se puede observar una comparativa de precios de los materiales compatibles con el ácido fórmico, marcados en amarillo. El coste de los materiales es relativo al precio de acero al carbono.



**Figura 1.4.2-a Comparativa de costes de diferentes materiales**

A partir de los datos que se tienen se pueden elegir los materiales adecuados.

No todas las tuberías deben de ser del mismo material, ya que en diferentes equipos y puntos de la planta habrá diferentes concentraciones de productos. Por ejemplo, las tuberías que unirán los tanques que contengan materia prima o incluso algunas tuberías de recirculación, no haría falta que fueran de teflón ya que no habrá una concentración muy alta de ácido fórmico, que es el agente más corrosivo en este caso. En cambio en los últimos equipos de separación y las tuberías correspondientes sí que tendrán una circulación del agente corrosivo en altas concentraciones, por tanto el material debe ser el más adecuado. Por tanto a continuación se muestra en la lista el material que debe ser usado cuando la concentración de los dichos productos es la suficiente como para corroer el equipo o la tubería.

**Tabla 1.4.2-a. Materiales escogidos**

Sustancia	Fórmula	Material
Metanol	CH <sub>3</sub> OH	Acero inoxidable 304L
Monóxido de carbono	CO	Acero inoxidable 304L
Formiato de metilo	HCOOCH <sub>3</sub>	Acero inoxidable 304L
Ácido fórmico	HCOOH	Acero inoxidable 304L teflonado

### 1.4.3 CORROSIÓN EXTERNA

A parte de la corrosión que puede haber dentro de las tuberías y de los equipos, hay que tener en cuenta la corrosión que se puede producir por factores externos.

Algunos de los factores externos pueden ser el clima de la zona. Ya que lluvias, nieve, cambios de temperatura, vientos e incluso terremotos pueden afectar a largo plazo la planta, provocando consecuencias graves. Por ejemplo, las tuberías que no necesitan ser aisladas, deberán estar recubiertas de pinturas anticorrosivas. Los aislantes de las tuberías y de los equipos también deben ser protegidos contra la corrosión. Dependiendo del tipo de aislante y las condiciones, se protegerán de diferentes formas como recubrimiento de aluminio, pinturas, lonas, etc.

También se tendrá que diseñar los equipos y tuberías de tal forma, que se puedan evitar deformaciones por esfuerzo mecánico, vibraciones o dilataciones por cambios de temperatura.

Todos los factores descritos anteriormente se tendrán en cuenta a la hora de diseñar todos los equipos al detalle más adelante en este proyecto.

## 1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación del ácido fórmico en este proyecto se ha basado en el proceso BASF, ya que la producción de la fábrica era superior a la que se requiere para este proyecto. Aun así, este primer proceso ha servido para conocer las fases de las que debe constar el proceso y que reacciones se dan en cada una de ellas.

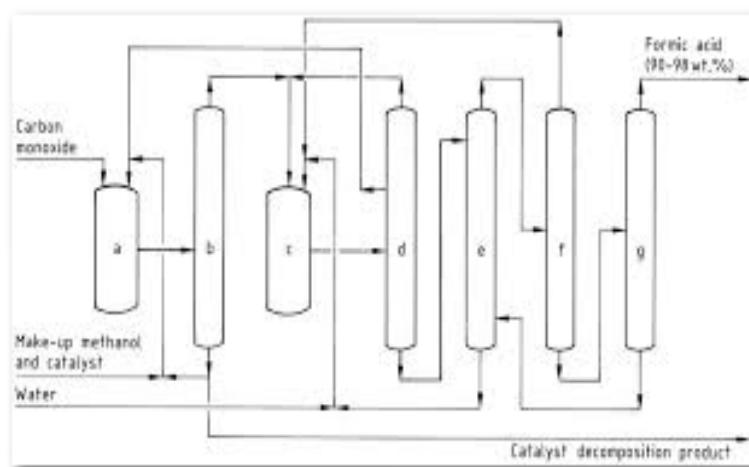


Figura 1.5-a. Diagrama de proceso BASF

Como se puede ver en la Figura 1.5-a, el proceso consta básicamente de dos etapas, la primera es la carbonilación en la cual el metanol reacciona con el monóxido de carbono para formar formiato de metilo. Para que ésta reacción se produzca con más rapidez se requiere de un buen contacto entre los reactivos ya que el monóxido de carbono es un gas y el metanol es un líquido. Por este motivo el reactor utilizado es de burbujeo. Seguido del reactor, hay una columna cuya finalidad es separar los reactivos y el catalizador del producto intermedio para que éste último pueda ir a la siguiente etapa que es la de hidrólisis. En ésta se hace reaccionar el metilo de formiato con agua para obtener el ácido fórmico y como subproducto el metanol. Las siguientes 4 columnas son para purificar el ácido fórmico formado.

Una vez escogido el proceso de fabricación, se han consultado diversas patentes con el fin de encontrar las condiciones de operación de los equipos que forman parte



del proceso, haciendo hincapié en los parámetros de diseño de los reactores como tiempo de residencia, temperatura, conversión y/o volumen.

### 1.5.1 PRIMERA ETAPA: CARBONILACIÓN

Para esta primera etapa se ha consultado la patente US 4216339 en la cual se usa el metóxido de sodio como catalizador para obtener una conversión del metanol de un 30%. Las condiciones de operación son 80°C y 44 bares.

Reacciones que se producen en esta etapa:



En este proceso se introduce el monóxido de carbono por la parte inferior del reactor. En ese momento entra por la parte superior el metanol con el metóxido de sodio diluido en este, puesto que es un sólido.

Considerando que el monóxido de carbono no sea 100% puro, se instala en la parte superior del reactor una purga por la cual se van a escapar los gases inertes y una parte de monóxido de carbono. El reactor tendrá como sistema de refrigeración una media caña debido a que la reacción es exotérmica, así mantenemos el fluido a una temperatura constante. Finalmente, por entrada inferior sale la mezcla de reacción en la cual ya se obtiene producto intermedio. El caudal de salida de esa tubería se calcula a partir de un balance de materia, es decir, que depende de los caudales de entrada.

### 1.5.2 SEGUNDA ETAPA: HIDRÓLISIS

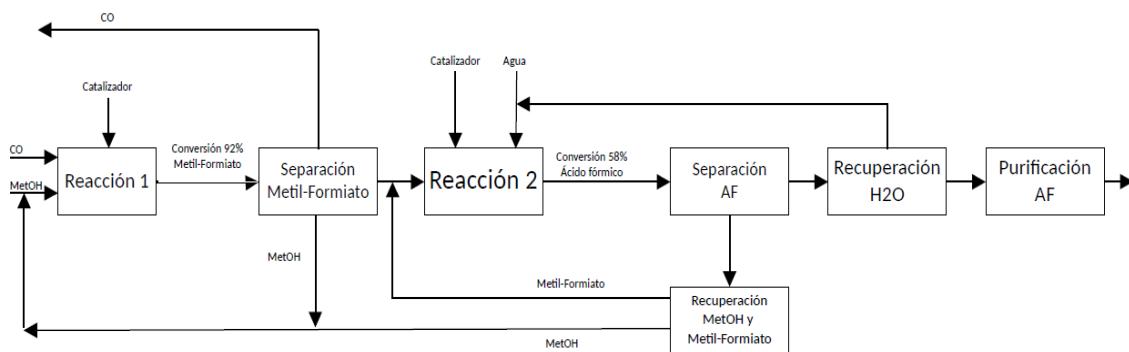
Para la etapa de la hidrólisis se ha consultado la patente US 4218568. La reacción que se da es la siguiente:



Las condiciones de operación que aparecen en la patente son 130°C y una presión de 10 bar(g), el tiempo de residencia será de 1 hora y 45 minutos para conseguir una conversión de formiato de metilo del 63,4%.

### 1.5.3 DIAGRAMA DE BLOQUES

En la *Figura 1.5.3-a* se adjunta el diagrama de bloques del proceso de fabricación del ácido fórmico:



**Figura 1.5.3-a. Diagrama de bloques**

El metanol y el CO se introducen en el primer reactor donde se lleva a cabo la carbonilación del metanol junto al catalizador metóxido sódico. El producto obtenido de la primera reacción es el formiato de metilo con una conversión del 92%.

El formiato junto con los reactivos no han reaccionados se envían a la siguiente etapa de separación. Esta etapa consta de una columna de absorción con metanol a contracorriente que separa el CO que no ha reaccionado. A su misma vez, en una columna flash se separa el CO no reaccionado que se junta con la entrada de la absorción. El corriente por colas de la columna de absorción compuesto por metanol y

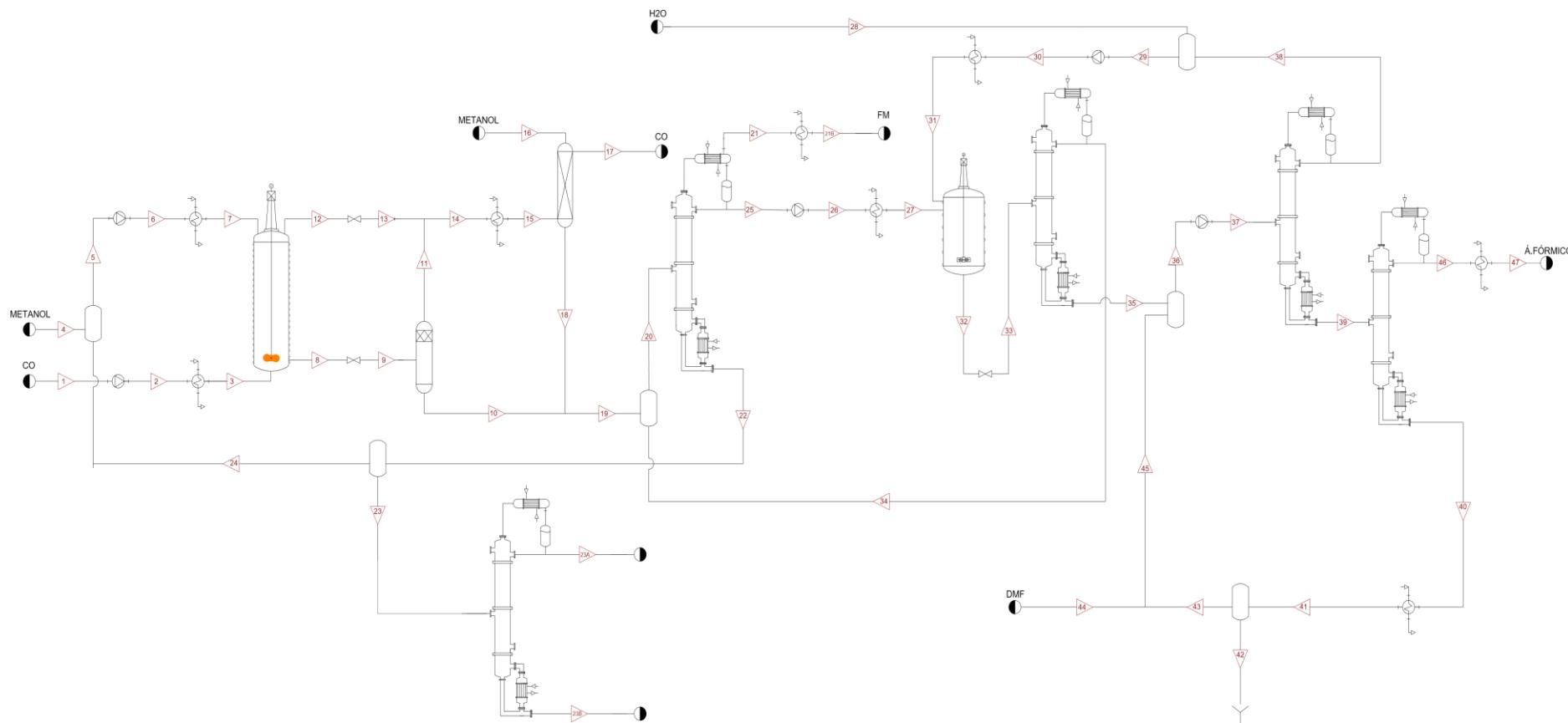


formiato se envía a la primera columna de rectificación que separa estos dos compuestos. El metanol se recircula al inicio y el formiato se envía a la siguiente etapa.

El agua y el formiato de metilo son introducidos en la reacción 2. Estos dos compuestos reaccionan formando ácido fórmico y metanol. La conversión del ácido fórmico es del 58%

El producto de la reacción 2 es enviado a la primera columna de rectificación de la siguiente etapa que separa por cabeza el formiato de metilo no reaccionado y por colas el ácido fórmico junto con el agua. El formiato de metilo es recirculado al inicio de la reacción 2. El ácido fórmico junto con el agua entra a la siguiente columna de destilación junto con la dimetilformamida. El agua que sale por cabeza de la segunda columna es recirculado al inicio de la segunda reacción. El ácido fórmico junto con la dimetilformamida es enviado a la última columna de separación obteniendo la pureza buscada del ácido fórmico y recirculando la dimetilformamida al inicio de la anterior rectificación.

#### 1.5.4 DIAGRAMA DE PROCESO Y DESCRIPCIÓN DETALLADA





### 1.5.4.1 Descripción detallada del proceso

En este apartado se presenta una detallada explicación del funcionamiento del proceso y de las condiciones de operación de cada uno de los equipos de las distintas áreas.

El proceso de producción de ácido fórmico mediante el proceso BASF utiliza monóxido de carbono y metanol como reactivos para dar como producto formiato de metilo. Éste último se usa como reactivo en la siguiente parte del proceso junto a agua para dar el producto final que es el ácido fórmico.

El monóxido de carbono se adquiere en forma líquida con una pureza del 99% en botellas a una presión de 140 bares y a -192°C. Éste se almacena en un tanque criogénico que le sigue un evaporador atmosférico con una válvula automática que regula la presión de salida ya en forma gaseosa. El monóxido sale del tanque a 130 bares y 25°C donde se regula a 44 bares y 80°C mediante una válvula y un intercambiador.

El metanol se adquiere también en forma líquida en camiones cisterna del proveedor SIMAR S.A. Se almacena en cuatro tanques con fondo plano y cabezal cónico a presión atmosférica y 25°C. Los tanques están diseñados con AISI-304L. El metanol se introduce en un tanque mezclador (donde mediante una tolva se introduce la cantidad necesaria de metóxido sódico). Después de este tanque mezclador, se aumenta la presión hasta 44 bares mediante una bomba y acto seguido se utiliza un intercambiador para aumentar la temperatura hasta 80°C.

En la siguiente etapa, se encuentran los tres reactores de carbonilación bifásicos que también constan de agitación tipo “propeller”. Los tanques están diseñados con AISI-316L. El monóxido de carbono entra mediante un difusor por la parte inferior del reactor mientras que el metanol entra por la parte superior al reactor. Al ser una reacción exotérmica, los reactores usan como sistema de refrigeración una media caña por donde circula agua fría. Esta agua de refrigeración entra al reactor a 15°C y sale a 50°C.



Los reactores de esta área tienen dos salidas:

- La salida inferior del reactor (líquida con algo de gas) se envía a un separador líquido-gas. La parte resultante líquida, mayoritariamente formiato y metanol, se envía a la siguiente parte del proceso. Y la parte resultante gas del separador se junta con la corriente que va hacia la columna de absorción.
- La parte resultante gas del reactor se envía juntamente con la parte gas del separador líquido-gas a una columna de absorción (que opera a 15°C y 1 bar) con metanol a contracorriente. Este metanol se encuentra en un tanque de almacenamiento con sistema de refrigeración (media caña con agua) a unos 15°C. La absorción tiene como objetivo separar el monóxido de carbono del proceso. El monóxido separado se enviará a un quemador. El metanol usado para la absorción se junta con el producto líquido de la separación líquido-gas.

La mezcla proveniente del separador líquido-gas y de la columna de absorción se envía a un tanque mezclador para conseguir una mezcla homogénea. Después de esto, la mezcla se envía a la primera columna de rectificación del proceso. Esta trabaja a presión atmosférica y tiene como objetivo la separación del metanol por colas y del formiato de metilo por cabeza.

El metanol obtenido por colas se recircula al inicio del proceso pasando por un tanque pulmón para amortiguar las fluctuaciones que pueda tener el proceso. Una parte de esta corriente es enviada a una columna de rectificación para tratar el agua y el ácido fórmico que proviene de las recirculaciones posteriores al proceso. En esta columna, se separa por cabezas metanol al 98% y por colas agua y ácido fórmico. El primer componente separado se analizará para comprobar si puede ser usado en el proceso almacenándolo como materia prima. El agua y el ácido fórmico serán tratados mediante la adición de hidróxido sódico para obtener como producto formiato de sodio (sal) en un tanque de homogeneización. El agua y el formiato de sodio se pasarán por un filtro de carbono activo con el objetivo de reducir la concentración de sal y poderlo abocar a la red municipal de aguas.



El formiato de metilo, que sale a presión atmosférica de la cabeza de la columna, se pasa por una bomba para aumentar su presión hasta 16 bares y luego por un intercambiador que lo calienta de 30°C a 130°C. Paralelamente, se aumenta la presión del agua de proceso mediante una bomba a 16 bares y se aumenta la temperatura a 130°C mediante un intercambiador. Estos son los dos reactivos que entrarán a la siguiente parte del proceso.

Esta parte del proceso es la reacción entre el agua y el formiato de metilo para dar como producto ácido fórmico y metanol como subproducto (hidrólisis). Esta parte del proceso está formada por tres reactores de tanque agitado de 30,6 m<sup>3</sup> refrigerados con media caña y agitados mediante una turbina tipo "propeller". Las condiciones de operación de los reactores son 130°C y 16 bares. Están diseñados con AISI-316L. Toda la mezcla resultante (producto y reactivo que no ha reaccionado) se envía conjuntamente hacia la siguiente parte del proceso.

Esta última mezcla es enviada a la siguiente columna de rectificación que separará por cabeza el formiato de metilo y el metanol (que se recirculará a la primera columna del proceso para separarlo) y por colas el ácido fórmico junto con el agua. Este último corriente se enviará a un tanque mezclador junto con la DMF (almacenada en un tanque a 2 bares y 25°C) que favorece la separación de agua y de ácido fórmico.

Una vez se mezclen estos tres corrientes en el tanque, se enviarán a la siguiente columna de destilación que separará el ácido fórmico y la DMF por colas y el agua por cabeza. El agua se recirculará como reactivo a la parte de la reacción de hidrólisis. Los otros dos componentes se impulsarán a la última parte del proceso de producción.

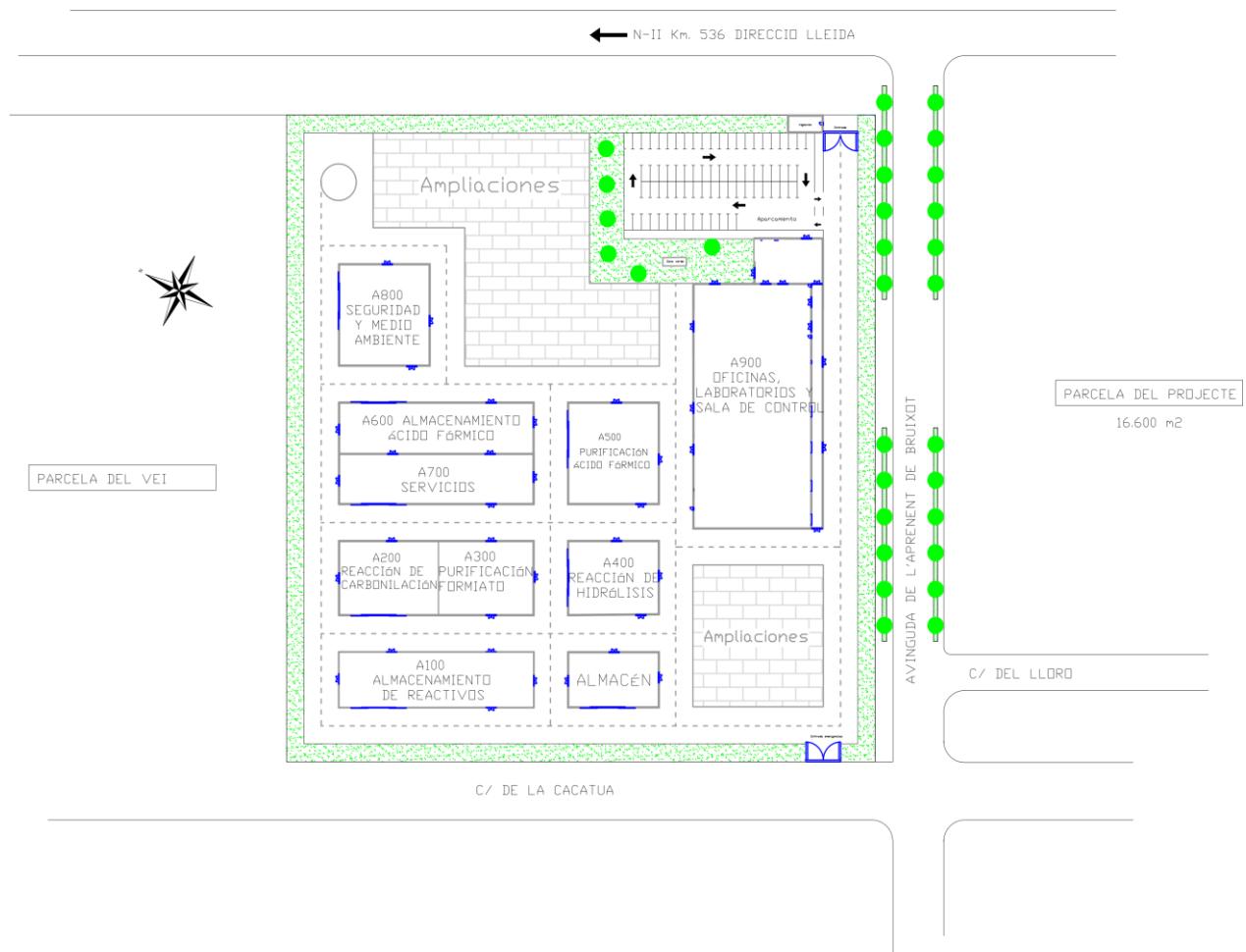
Finalmente, la mezcla de ácido fórmico y DMF será el alimento a la última columna de destilación del proceso, con el objetivo de conseguir que el ácido fórmico tenga la pureza necesaria para su futura venta. La salida por colas de esta columna será la DMF que se enfriará mediante un intercambiador y se recirculará junto con la entrada fresca de DMF. La salida por cabeza de esta última columna será el ácido fórmico con una pureza del 95,5%.



El ácido fórmico se almacenará en cuatro tanques a presión atmosférica y diseñados con AISI-316L. Estos tanques tendrán en su interior una serie de resistencias para calentar el ácido fórmico en caso de que la temperatura en su interior sea inferior a 15°C (el punto de congelación del ácido fórmico a 1 bar es aproximadamente 8°C). El ácido fórmico se vaciará de los tanques en una serie de cisternas de 23 toneladas para su posterior venta.

## 1.6 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

A continuación en la *Figura 1.6-a* muestra como se distribuyen las áreas de la planta en la parcela:



**Figura 1.6-a. Distribución de las áreas**

### 1.6.1 DISTRIBUCIÓN POR ÁREAS

La planta de producción está dividida en nueve áreas. Dos dedicadas al almacenamiento de materias primas y productos, cuatro al proceso de producción, una a los servicios, otra para seguridad y medio ambiente y una última para las oficinas, laboratorios y sala de control. La *Tabla 1.6.1-a* muestra las distintas áreas de la planta:

**Tabla 1.6.1-a. Descripción de las áreas**

Área	Descripción
<b>100</b>	Almacenamiento de reactivos
<b>200</b>	Reacción de carbonilación
<b>300</b>	Purificación de formiato de metilo
<b>400</b>	Reacción de hidrólisis
<b>500</b>	Purificación de ácido fórmico
<b>600</b>	Almacenamiento de ácido fórmico
<b>700</b>	Servicios
<b>800</b>	Seguridad y medio ambiente
<b>900</b>	Oficinas, laboratorios y sala de control

#### Área 100: Almacenamiento de reactivos

En esta área se almacenan los reactivos (Metanol y monóxido de carbono). El metanol se almacena en cuatro tanques de techo cónico y fondo plano. El monóxido de carbono se distribuye al proceso mediante botellines. Gracias a un sistema de evaporación.

Los tanques de metanol se llenarán mediante camiones cisterna. Por tanto, éstos tendrán un espacio habilitado des de la entrada a la planta hasta la zona de almacenamiento de reactivos. Los camiones vendrán con un periodo de 7 días ya que el tiempo de stock de estos tanques es de 20 días.



### **Área 200: Reacción de carbonilación**

El área 200 abarca la producción de formiato de metilo mediante tres reactores bifásicos de 19 m<sup>3</sup>. Esta área está situada cerca del área 100 para que los reactivos recorran el camino más corto hasta llegar a los reactores aun así, estas están separadas ya que si ocurriera un accidente, las materias primas deben estar alejadas de los reactores para no agravar el accidente.

### **Área 300: Purificación de formiato de metilo**

En esta área se producirá la purificación del formiato de metilo mediante una columna de separación. Esta área comprende además de la purificación del formiato, la separación mediante otra columna del metanol sobrante del proceso que se recircula posteriormente.

### **Área 400: Reacción de hidrólisis**

Los reactores de hidrólisis se sitúan en un área a parte ya que las condiciones de operación son considerablemente peligrosas y de esta forma se evita que ante un posible accidente, se pueda extender a otras áreas. Esta área consta de tres reactores de tanque agitado de 36,1 m<sup>3</sup>.

### **Área 500: Purificación de ácido fórmico**

La purificación de los corrientes de salida del área 400 se realizará en el área 500 con el fin de obtener la pureza establecida por el mercado del ácido fórmico. Esta área se encontrará cerca del área de almacenamiento del ácido fórmico.

### **Área 600: Almacenamiento de ácido fórmico**

El ácido fórmico se almacena en cuatro tanques de acero inoxidable 316-L capaces de contener un producción de 4 días. Estos tanques cuentan con unas resistencias que calentarán el ácido fórmico en el caso de que la temperatura sea muy desfavorable. El ácido fórmico finalmente se venderá en cisternas de 23 toneladas.



### **Área 700: Servicios**

Todos los servicios se encontrarán en el área 800. A partir de esta área, se distribuirán los distintos servicios en toda la planta.

### **Área 800: Seguridad y medio ambiente**

En esta área, las purgas del proceso se tratarán y/o se enviarán a tratamiento externo dependiendo del tipo de purga. También se almacenarán los residuos sólidos como el catalizador. Además de contar con la balsa de agua para la prevención contra incendios.

### **Área 900: Oficinas, laboratorios y sala de control**

En esta área se realizarán todas las pruebas de calidad e I+D. También se harán las gestiones de la planta ya sea la parte administrativa o la parte de control.



## 1.7 SERVICIOS DE LA PLANTA

Los servicios de planta son una parte fundamental para que el proceso de producción se lleve a cabo correctamente. Sin estos servicios los equipos no podrían funcionar correctamente y el proceso no podría estar controlado. Los servicios se diferencian en dos tipos básicamente, por un lado están los servicios que son fluidos y por otro los servicios que son corrientes de energía.

### 1.7.1 SERVICIOS DE FLUIDOS

#### 1.7.1.1 Agua de red

Para la refrigeración de equipos y el agua que se va usar para el proceso se va a usar agua de red. El procedimiento a seguir será que, en la puesta en marcha, el agua de red, suficiente para abastecer los equipos de refrigeración y el proceso, irá a un descalcificador. De ese punto saldrán dos corrientes, una será enviada al proceso de fabricación y la otra se mandará a las torres de refrigeración que se explican en el apartado 1.7.1.4 AGUA PARA REFRIGERACION. Una vez el proceso esté en marcha, tan solo se cogerá agua de red para abastecer el proceso, puesto que el agua de refrigeración será recirculada.

#### 1.7.1.2 Agua contra incendios

En el caso de que se produjera un incendio, la instalación dispone de una zona en la cual hay un depósito de agua del cual, a través de dos bombas, se puede abastecer todos los hidrantes, *sprinklers* y bocas de incendio de la fábrica.

#### 1.7.1.3 Agua descalcificada

El agua que llega de la red pública es de una dureza elevada, por lo que se debe tratar para poder ser utilizada en el sistema de refrigeración ya que, a largo plazo podría perjudicar negativamente a los equipos ocasionando incrustaciones y corrosión.

Para evitar dicho problema, se instalarán descalcificadores en las líneas de entrada de agua de red, es decir, en la torre de refrigeración.



Las ventajas de dicha instalación son las siguientes:

- Aumentar la vida útil de las conducciones y equipos que trabajen con agua de red.
- El mantenimiento de los equipos tendrá un rango más amplio.
- Ahorro de agua y consumo eléctrico.
- Eliminación de problemas de corrosión y sedimentación o incrustaciones.
- Aumenta el nivel de seguridad del equipo (eliminando las incrustaciones y evitando posibles averías y riesgos mayores).

Para este proceso se requiere un descalcificador que en la puesta en marcha pueda abastecer de agua los servicios tales como, torres de refrigeración, chillers y calderas, y a su vez, también pueda alimentar la entrada del reactor R-401.

**Tabla 1.7.1.3-a: Massa de agua descalcificada requerida**

Servicios que requieren agua descalcificada	Massa de agua requerida (kg/h)
Círculo de vapor	26512
Círculo de agua refrigerante	482567
Entrada del R-402	8408,5
<b>TOTAL</b>	<b>515487,5</b>

Una vez los circuitos de refrigeración y vapor hayan sido llenados no hará falta volver a abastecerlos hasta que se produzca una parada de mantenimiento o puntualmente añadir el agua que se pierde en las purgas. Así pues, interesa encontrar un descalcificador por el cual pueda circular el caudal necesario para abastecer el R-402, puesto que siempre va a requerir agua. Con la recirculación de agua recuperada del proceso, solo se requieren 3954,3 kg/h de agua.

Dicho descalcificador industrial es de la casa ECOCAL, sistema de tratamiento de agua que combate con eficacia los depósitos e incrustaciones de cal en conducciones y equipos.



Figura 1.7.1.3-a: Descalcificador Ecocal

Este descalcificador trabaja neutralizando la formación de depósitos de cal. A continuación se detalla su funcionamiento:

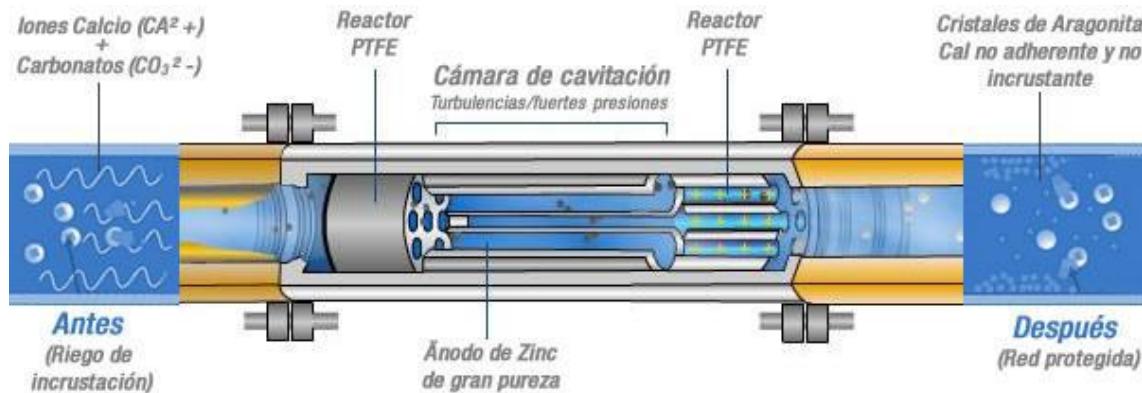


Figura 1.7.1.3-b: Mecanismo interior del descalcificador Ecocal

Dicho sistema, utiliza unos ánodos de sacrificio de Zinc de gran pureza, el cual reacciona con el calcio para formar cristales de Aragonita (igual que la calcita pero con una estructura en forma de aguja), consiguiendo de esta manera prevenir las incrustaciones de cal y formar una fina capa protectora. Se basa en una célula electrolítica de Zinc y el cuerpo del sistema, que en contacto con el agua genera tensión de 1V en el interior del reactor. La tensión genera la transformación de Calcita a Aragonita.

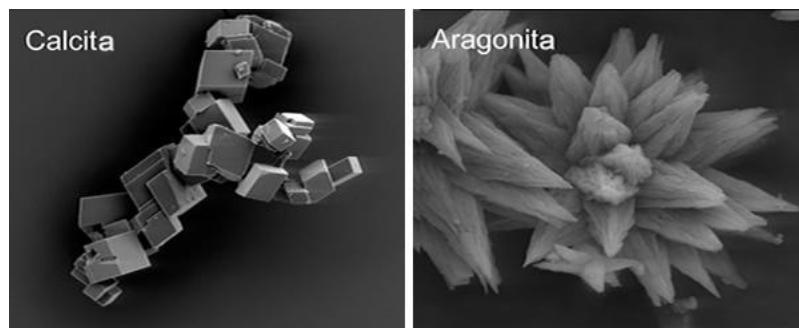


Figura 1.7.1.3-c: Comparativa estructural de calcita y aragonita



Dicho accesorio puede tratar un caudal de 14 metros cúbicos por hora, sus características se describen en *Tabla 1.7.1.3-b:*

**Tabla 1.7.1.3-b: Especificaciones del descalcificador**

Equipo	Descalcificador industrial
Proveedor	ECOCAL
Modelo	HX-65
Capacidad (m <sup>3</sup> /h)	12-24
Presión máxima (bar)	16
Diámetro de la brida (mm)	185
Longitud (mm)	252
Peso (kg)	13,1
Acoplamientos	½" machos BSP hasta DN150
Precio estimado (€)	20000
<b>Cuerpo de acero de alta resistencia</b>	
<b>Ánodo de Zinc de alta pureza</b>	
<b>Unión térmica al ánodo teflonado con certificado Dupont</b>	
<b>Junta teórica de nitrilo 70WRC</b>	

#### 1.7.1.4 Agua para refrigeración

Para este proceso se ha elegido el agua como fluido refrigerante, pues las condiciones de proceso permiten que sea posible. Como se puede ver en la *Tabla 1.7.1.4-a*, la gran mayoría de los equipos requieren agua a 2°C, pero también hay un equipo que requiere agua a 20°C y dos equipos que la requieren a 15°C. Por eso, para tratar de enfriar toda el agua a su debida temperatura, se plantea el siguiente proceso.

**Tabla 1.7.1.4-a: Equipos que requieren refrigeración**

Equipo	Caudal de agua (kg/h)	Calor intercambiado (KW)	Rango de temperaturas (°C)
<b>CD-301</b>	177142	6604,5	2°C-34°C
<b>CD-501</b>	136531	9218,6	2°C-60°C
<b>CD-502</b>	31301	2113,5	2°C-60°C
<b>CD-503</b>	32060	2164,7	2°C-60°C
<b>CD-302</b>	32676	1826,4	2°C-50°C
<b>EX-303</b>	338	7,1	2°C-20°C
<b>EX-501</b>	2613	210,2	20°C-40°C
<b>EX-502</b>	13870	533,3	2°C-40°C
<b>R-201</b>	31366	1275	15-50°C
<b>R-401</b>	23515	956	15-50°C
<b>T-301</b>	1245	7	2°C-10°C
<b>TOTAL</b>	482657	18312	

La temperatura a la que se encontrarán todos los corrientes en la torre de refrigeración será de 47,79°C.

- Agua a 20°C

Debido a que hacer pasar el agua de 47,79°C a 2°C es muy costoso y se requerirían muchos equipos de frío, se decide que como primera etapa, se enfriá toda el agua a 20°C en una torre de refrigeración. De esta etapa se separa un corriente para abastecer el equipo EX-501 pues ya requiere agua refrigerante a esa temperatura. Para conocer la potencia que debe tener la torre de refrigeración se calcula en *la Ecuación 1.7.1.4-a*

$$Q = m_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = \frac{482657}{3600} \cdot 4,18 \cdot (47,79 - 20) \rightarrow Q = 15574,03 \text{ KW}$$

Ecuación 1.7.1.4-a

Donde:

Q: Potencia necesaria (KW)

$M_{H_2O}$ : Caudal de vapor (Kg/s)

Cp: Capacidad calorífica del agua (Kj/Kg·K)

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la caldera (°C)

La torre de refrigeración que se usa es de la casa EWK, en concretos el modelo EWB 5750, puesto que proporciona una gran potencia y tiene una gran capacidad.

Tabla 1.7.1.4-a: Características de la torre de refrigeración

Equipo	Torre de refrigeración
Proveedor	EWK
Modelo	EWB 5750
Potencia (Kw)	9193
Peso vacío/ Peso servicio (kg)	11600 / 16400
Potencia ventilador (Kw)	2x30
Medidas (Largo/Ancho/Alto) (mm)	9750 / 6102 / 5106
Precio estimado (€)	4000

Se instalan dos equipos, puesto que con uno no se alcanza la potencia necesaria para tratar toda el agua. Aun así, con dos equipos se sobrepasa la potencia requerida, así que los equipos no tendrán que trabajar al 100%.



Figura 1.7.1.4-a: Torre refrigeración de la casa EWK

- Agua de 15°C

Para conseguir que el agua a 20°C pase a estar a 15°C para poder abastecer la refrigeración de los dos reactores se usa un equipo de frío, comúnmente conocido como chiller. La potencia que debe tener este equipo se calcula mediante la *Ecuación 1.5.1.4-b.*

$$Q = m_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = \frac{54881}{3600} \cdot 4,18 \cdot (20 - 15) \rightarrow Q = 318,6 \text{ KW}$$

Ecuación 1.7.1.4-b

Donde,

Q: Potencia necesaria (KW)

$M_{H_2O}$ : Caudal de vapor (Kg/s)

$C_p$ : Capacidad calorífica del agua (Kj/Kg·K)

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la caldera (°C)

El chiller usado es de la casa BUZAR, el chiller trabaja dentro de fábrica y usa aire para enfriar el agua. Este equipo es ideal para esta operación, puesto que solo puede realizar saltos térmicos de 10°C. El modelo escogido por su capacidad es el AP-3540, cuyas especificaciones se muestran en la *Tabla 1.7.1.4-b*.

**Tabla 1.7.1.4-b: Especificaciones del equipo de frío**

Equipo	Chiller
<b>Proveedor</b>	BUDZAR
<b>Modelo</b>	AP-3540
<b>Potencia de enfriamiento (KW)</b>	166,9
<b>Conexión eléctrica (V/ph/Hz)</b>	460 / 3 / 60
<b>Tanque almacenaje (kg agua)</b>	833
<b>Peso vacío/ Peso en operación (kg)</b>	1950,45 / 2721,55
<b>Medidas (Largo/Ancho/Alto) (cm)</b>	330,2/195,6/246,4
<b>Precio estimado (€)</b>	150000

Como se puede apreciar, la potencia de enfriamiento no es suficiente para nuestro proceso, así pues se pondrán dos chillers para poder enfriar todo el caudal de agua que se necesita.



**Figura 1.7.1.4-b: Indoor Air-Cooled Chiller**



- Agua a 2°C

Para conseguir que la temperatura del agua pase de 20°C a 2°C se usa un equipo de frío (chiller), la potencia del cual se calcula a través de la *Ecuación 1.7.1.4-c.*

$$Q = m_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T \rightarrow Q = \frac{425163}{3600} \cdot 4,18 \cdot (20 - 2) \rightarrow Q = 8885,9 \text{ KW}$$

**Ecuación 1.7.1.4-c**

Donde:

Q: Potencia necesaria (KW)

M<sub>H2O</sub>: Caudal de vapor (Kg/s)

C<sub>p</sub>: Capacidad calorífica del agua (Kj/Kg·K)

ΔT: Diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la caldera (°C)

El chiller usado es de la casa Cosmotec, el modelo escogido es el WSW, puesto que es el que dentro de sus rangos de temperaturas de refrigeración se encuentra la temperatura que se desea conseguir del agua.

**Tabla 1.7.1.4-c: Características del equipo de frío**

Equipo	Chiller
Proveedor	Cosmotec
Modelo	WSW 560L
Rango de temperaturas (°C)	-5 / 48
Rango de cabales (m <sup>3</sup> /h)	39 / 317
Potencia (KW)	1530
Conexión eléctrica (V/ph/Hz)	400 / 3 / 50
Consumo del compresor (KW)	2x300
Peso vacío/ Peso en operación (kg)	7850 / 8722
Medidas (Largo/Ancho/Alto) (mm)	5390 / 1931 / 2232
Precio estimado (€)	250000

El único inconveniente para conseguir el objetivo de este chiller es que las potencias máximas de trabajo no superan los 1530 KW, por lo cual será necesario usar seis equipos para conseguir la potencia requerida por el proceso. Aun así, con seis equipos se consigue más potencia de la necesaria, lo que hará que los equipos no tengan que trabajar al 100%.



Figura 1.7.1.4-c: Chiller Cosmotec WSWseries

### 1.7.1.5 Caldera de vapor

El suministro de vapor de agua es necesario para abastecer el calentamiento de una serie de equipos con el fin de producir ácido fórmico. Se producirán dos tipos de vapor saturado, uno 3 bar de presión (133,4°C) y otro a 10 bar de presión (180°C). En primer lugar, es necesario hacer un balance de las necesidades de vapor empleado en todo el proceso de producción de ácido fórmico. En la Tabla 1.5.1.2-a se muestra dichas cantidades.



Tabla 1.7.1.5-a: Necesidades de vapor en el proceso

Equipo	Caudal de Vapor (Kg/h)	Presión (bar)	Potencia (KW)	Temperatura de retorno (°C)
<b>RB-302</b>	3221	3	1939,1	131,07
<b>EX-101</b>	290	3	174	131,78
<b>EX-201</b>	692	3	415,8	131,8
<b>EX-302</b>	3316	10	1854,8	179,69
<b>EX-401</b>	1319	10	778,8	179,08
<b>RB-301</b>	13417	10	7505,2	179,85
<b>RB-501</b>	3824	10	2139,2	179,85
<b>RB-502</b>	353	10	197,4	179,84
<b>RB-503</b>	89	10	49,8	179,85
<b>TOTAL</b>	26512			

Una vez calculada la necesidad de vapor para abastecer toda la planta, se calcula la potencia térmica necesaria para obtenerlo. Para ello, se ha de tener en cuenta el calor que hay que suministrar al agua para aumentar su temperatura y para llegar al cambio de fase. Se ha considerado que la temperatura del retorno de condensados es 133,5°C y una presión de 3 bares. Se calcula la potencia térmica a partir de la siguiente expresión:

$$Q = m_{H_2O} \cdot C_p \cdot \Delta T + m_{H_2O} \cdot \lambda \rightarrow Q = \frac{26512}{3600} \cdot 1,48 \cdot (133,5 - 180) + \frac{26512}{3600} \cdot 2257 \\ Q = 15190,12 \text{ KW}$$

Ecuación 1.7.1.5-a

Donde:

Q: Potencia necesaria (KW)

M<sub>H2O</sub>: Caudal de vapor (Kg/s)

C<sub>p</sub>: Capacidad calorífica del agua (Kj/Kg·K)

ΔT: Diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida de la caldera (°C)

λ: Calor latente de vaporización del agua (2257 kJ/kg)

La caldera escogida es de la casa SOGECAL, concretamente el modelo de caldera Kestahl de 2 hogares, puesto que es la que tiene la capacidad y potencia necesaria para generar el vapor requerido para la planta.

Tabla 1.7.1.5-a: Características de la caldera de vapor

Equipo	Caldera de vapor
Proveedor	SOGECAL
Modelo	MNK 2H 30 Tm
Producción de vapor (Kg/h)	30.000
Potencia térmica (KW)	21104
Consumo fuel oil (Kg/h)	2100,7
Volumen total (m <sup>3</sup> )	67050
Peso vacío/ peso en servicio (Tn)	54,4 / 121,45
Medidas (Alto/Ancho/Largo) (mm)	4870 / 4960 / 8890
Precio estimado (€)	325200

Con un equipo se puede suprir de sobra la cantidad de vapor requerida y la potencia necesaria para obtener vapor a 10 bar. El equipo está sobredimensionado, así que no trabajará al 100% de rendimiento.

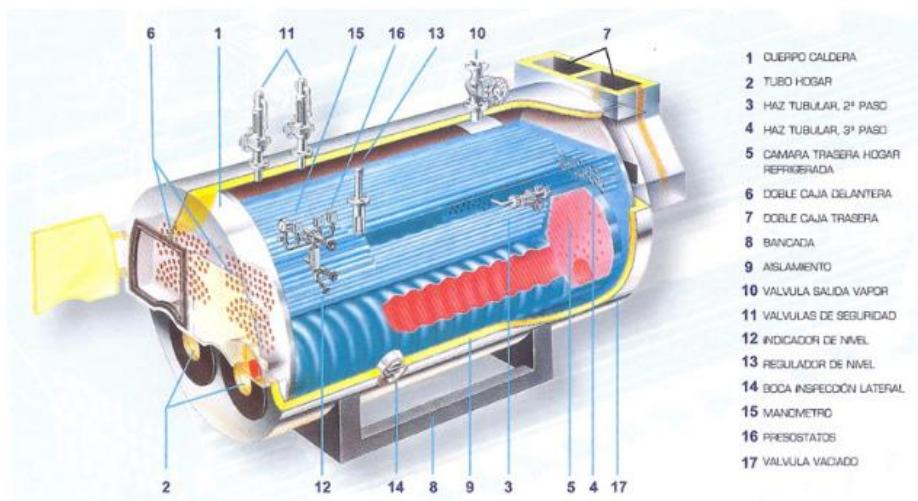


Figura 1.7.1.5-a: Caldera de vapor MNK 2H

### 1.7.1.6 Metanol al 20%

El metanol al 20% se usará como un refrigerante para el equipo EX-301, ya que este equipo requiere un refrigerante que entre al equipo a -15°C.

Así pues, se instalará un equipo de frío capaz de enfriar el metanol al 20% de -5°C a -15°C. El equipo usado será un chiller cuya potencia debe ser de 697,4 KW.

El chiller escogido es de la casa BUDZAR, el tipo de chiller escogido puede trabajar a temperaturas de hasta -40°C, lo que hace que sea ideal para obtener fluidos fríos a menos de 0°C. El modelo escogido es el LTW-125, ya que puede alcanzar temperaturas de -20°C y la potencia es un poco mayor a la requerida como se puede ver en la Tabla 1.7.1.6-a.

**Tabla 1.7.1.6-a: Especificaciones del equipo de frío**

Equipo	Chiller
Proveedor	BUDZAR
Modelo	LTW-125
Potencia de enfriamiento (KW)	788,4
Conexión eléctrica (V/ph/Hz)	460 / 3 / 50
Compresores/ Potencia compresor (hp)	1 / 125
Peso vacío/ Peso en operación (kg)	9.350 /11.480
Medidas (Largo/Ancho/Alto) (m)	10 / 3 / 3
Precio estimado (€)	150000

Como se puede comprobar, con un equipo ya se obtiene más de la potencia necesaria para enfriar el metanol 20%.



**Figura 1.7.1.6-a: Low Temperature Air-Cooled Chiller**

### 1.7.1.7 Nitrógeno

El nitrógeno es una pieza fundamental dentro de la seguridad de una planta química ya que es un componente gaseoso utilizado para la inertización de los equipos, proporcionando una atmósfera segura y libre de oxígeno para evitar el contacto de componentes susceptibles a explosionar con el contacto de O<sub>2</sub> del aire.

La inertización consiste en introducir un suficiente volumen de nitrógeno que se capaz de retirar todo el aire presente en el equipo o tanque en uso.

La secuencia de operación sería la siguiente:

- Se introduce N<sub>2</sub> hasta un volumen del 70-75% del volumen total del equipo o tanque, de forma continua y a velocidad lenta para evitar el enfriamiento del equipo o tanque.
- A continuación, se dejara pasar un tiempo para la expansión de todo el N<sub>2</sub> en el equipo o tanque ya que, como es más denso que el aire, su difusión es lenta.
- Por último, se procede a expulsar el aire por la válvula de compensación.

A continuación, se pondrá como ejemplo la carga de un tanque de almacenamiento:

1. Situar el camión cisterna a una distancia de seguridad de 3 m respecto de la boca de carga.
2. Disponer de un toma tierra conectado al camión cisterna.

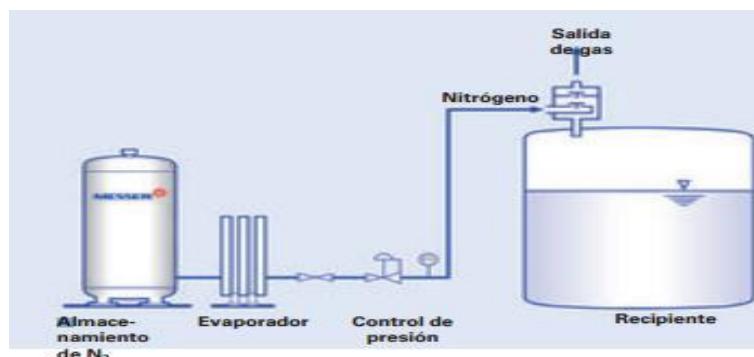


Figura 1.7.1.7-a: Esquema del proceso de inertización



En este caso, la acción de inertización corresponde a crear un circuito cerrado entre el tanque y la cisterna de forma que, a medida que se descarga el camión y se carga el tanque, el N<sub>2</sub> del tanque va llenando el camión. Al mismo tiempo y gracias al sistema de control la presión del tanque pulmón de N<sub>2</sub> podría disminuir y pedir suministro de gas del tanque de servicio de nitrógeno.

La manipulación de dicho elemento es muy sencilla ya que no es combustible ni permite la combustión, es muy estable, además de poco reactivo, nos facilita a minimizar los riesgos de explosión y a ser sostenibles con el medioambiente.

Los requisitos de N<sub>2</sub> en la planta química es un cálculo difícil para la puesta en marcha y la continuidad de la producción de Ácido fórmico. Por otro lado, se considera disponer de suministro de nitrógeno necesario para la operación de la planta. A continuación, en la *Tabla 1.7.1.7-a* se especifica los equipos que necesitan este servicio en la puesta en marcha.

**Tabla 1.7.1.7-a: Volumen de nitrógeno gas necesario para cada equipo**

<b>Equipos que requieren nitrógeno gas</b>	<b>Volumen de nitrógeno gas (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Columnas de destilación y absorción</b>	136,41
<b>Tanques pulmón y de almacenaje</b>	2001,05
<b>Reactores R-201 y R-401</b>	181,2
<b>TOTAL:</b>	2318,66

Cabe recordar que este volumen es de nitrógeno gas, por lo cual se debe convertir a volumen de nitrógeno líquido, como se puede ver en la *Ecuación 1.7.1.7-a*.

$$PV = nRT \rightarrow 1 \text{ atm} * 2318660L = n * 0,082 * 293 \rightarrow n = 96506,3 \text{ mol de N}_2$$

$$PV = nRT \rightarrow 18,23 \text{ atm} * V = 96506,3 * 0,082 * 77 \rightarrow V = 33,43 \text{ m}^3$$

**Ecuación 1.7.1.7-a.**

Una vez se haya realizado la puesta en marcha ya no será necesario tanto nitrógeno, tan solo se usará para los tanques de almacenaje que contienen metanol, que representa un volumen de 275 m<sup>3</sup> de nitrógeno gas, lo que representa 4 m<sup>3</sup> de nitrógeno líquido, así pues se mantendrán los tanques llenos y se dispondrá de nitrógeno durante varios días. Las características del tanque criogénico se describen en la tabla 1.7.1.7-b.

**Tabla 1.7.1.7-b: Características del tanque criogénico de nitrógeno**

Equipo	Tanque criogénico
<b>Proveedor</b>	Abelló Linde
<b>Modelo</b>	Lin-490
<b>Volumen de nitrógeno (m<sup>3</sup>)</b>	46,57
<b>Presión de almacenaje (bar)</b>	18
<b>Caudal de descarga (m<sup>3</sup>/h)</b>	600 (1 bar, 15°C)
<b>Diámetro (m)</b>	3
<b>Altura (m)</b>	11,55
<b>Peso vacío (kg)</b>	19,3
<b>Precio estimado (€)</b>	20000

El tanque criogénico escogido supera el volumen de nitrógeno líquido que se necesita para la puesta en marcha, y sobrepasa con creces, el nitrógeno líquido que se requiere para mantener la inertización en los tanques que contienen metanol. Así pues, el equipo está dimensionado pensando en posibles ampliaciones de la planta.



**Figura 1.7.1.7-b: Tanque criogénico LINDE**

### 1.7.1.8 Aire comprimido

Dentro de los elementos de instrumentación, las válvulas de control requieren una fuerza impulsora para que los elementos mecánicos se desplacen en función del orden del controlador.

Esta fuerza impulsora es el aire comprimido generado por un compresor. Se ha escogido el compresor ASIMAIR modelo de compresor COMBI 15. Este equipo es un compresor de tornillo estacionario y es capaz de proporcionar un caudal de aire de 0.93 - 2.18 m<sup>3</sup>/min a una presión de 8 - 13 bares. Ofrece una gran eficacia con una generación de sonido bajo, aparte de un mantenimiento de bajo coste. También incluye sus sistemas de emergencia a temperaturas de compresión y aceite elevadas, así como, de presiones de compresión altas.

**Tabla 1.7.1.8-a: Características del equipo de aire comprimido**

Equipo	Tanque criogénico		
<b>Proveedor</b>	Almig		
<b>Modelo</b>	COMBI 15		
<b>Caudal de aire (m<sup>3</sup>/min)</b>	1,96	1,86	1,61
<b>Presión (bar)</b>	8	10	13
<b>Potencia del motor (KW)</b>	15		
<b>Largo/Ancho/Alto (mm)</b>	1180 / 770 / 1128		
<b>Peso (kg)</b>	325		
<b>Precio estimado (€)</b>	28000		



**Figura 1.7.1.8-a: Compressor COMBI de Almig**

## 1.7.2 SERVICIOS DE ENERGIA

### 1.7.2.1 Electricidad

Para una correcta elección de la estación transformadora necesaria en la planta, se ha de determinar a potencia total consumida en KW, este gasto incluye, las bombas, agitadores, torres de refrigeración, chillers, compresores, luz de abastecimiento para laboratorios, despachos, etc. Como se puede ver en la tabla 1.7.2.1-a se ha contabilizado el gasto de electricidad de la planta:

Equipo	Número de equipos	Potencia consumida KW/h	Potencia consumida KW/h
TR-701	2	60	120
CH-701	2	2,24	4,48
CH-702	6	600	3600
CH-703	1	125	125
CP-701	2	152	304
R-201	3	17,133	51,40
R-401	3	21,661	64,98
P-101	2	2,9828	5,97
P-102	2	1,11855	2,24
P-201	2	5,59275	11,19
P-202	2	5,59275	11,19
P-301	2	1,11855	2,24
P-302	2	1,4914	2,98
P-303	2	4,10135	8,20
P-304	2	67,113	134,23
P-305	2	2,9828	5,97
P-306	2	2,9828	5,97
P-307	2	4,10135	8,20
P-308	2	1,11855	2,24
P-309	2	1,11855	2,24
P-310	2	1,11855	2,24
P-311	2	4,10135	8,20
P-401	2	67,113	134,23
P-501	2	2,9828	5,97
P-502	2	2,9828	5,97
P-503	2	5,9656	11,93
P-504	2	67,113	134,23
P-505	2	67,113	134,23
P-506	2	1,4914	2,98
P-507	2	2,2371	4,47
P-508	2	2,2371	4,47

P-509	2	1,4914	2,98
P-510	2	2,2371	4,47
P-511	2	1,11855	2,24
P-512	2	1,11855	2,24
P-601	2	2,9828	5,97
P-701	2	65,6216	131,24
P-702	2	74.57	149,14
P-703	2	5.59275	11,19
P-704	2	7.457	14,91
P-705	2	0.7457	1,49
P-706	2	22.371	44,74
P-707	2	4.10135	8,20
P-708	2	22.371	44,74
P-709	2	2.9828	5,97
P-710	2	4.10135	8,20
P-711	2	2.2371	4,47
P-712	2	7.457	14,91
P-713	2	4.10135	8,20
P-714	2	2.9828	5,97
P-715	2	2.9828	5,97
<b>TOTAL</b>			5398,88
<b>TOTAL ANUAL</b>			38871936

El cálculo de la potencia total, se relaciona con la potencia real y la potencia reactiva. Se aplica la *Ecuación 1.7.2.1-a* para determinar los KW:

$$\text{Potencia Total} \left( \text{KW} \frac{h}{año} \right) = \text{Potencia eléctrica} \left( \text{KW} \frac{h}{año} \right) \times FS$$

$$\text{Potencia total} = 38871936 \text{ (KW)} \times 0,55 = 21379564,8 \times 10^7 \text{ KW} \frac{h}{año}$$

**Ecuación 1.7.2.1-a**

Donde:

FS: Factor de simultaneidad (0,5 – 0,6)

Así pues, el consumo eléctrico de la planta será de **2,14 x 10<sup>7</sup> KW**



### 1.7.3.2 Fueloil

Para suprir las necesidades de combustible de la caldera la planta debe disponer de una tubería a la cual llegue fueloil con el suficiente caudal para poder hacer funcionar la caldera. Con esa finalidad se va a contactar con las empresas cercanas que pueden proveer este servicio para que sea instalado en la zona de servicios de la planta. Por lo cual, no habrá que extremar las medidas de seguridad, puesto que almacenar fueloil es peligrosos debido a su inflamabilidad y también porque puede causar una explosión.

## 1.8 BALANCES DE MATERIA

A continuación se presentan las condiciones (presión, temperatura, fracción de vapor), la densidad y el caudal mísico de los corrientes que forman el proceso de producción del ácido fórmico. Las Tablas 1.8-a, 1.8-b, 1.8-c, 1.8-d y 1.8-e detallan la información de cada corriente. La numeración corresponde con el diagrama de proceso adjuntado en el apartado *1.5 Diagrama del proceso y descripción detallada* de este mismo capítulo.

Tabla 1.8-a. Balance de materia de la planta de producción de ácido fórmico

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	25	25	80	25	62,45	62,45	80	80	39,55	39,55
Presión (bar)	130	44,01	44,01	1,013	1,013	44,01	44,01	44	1,013	1,013
Fracción vapor	1	1	1	0	0	0	0	0,0102	0,1425	0
Densidad (kg/m3)	5,302	1,795	1,49	734,7	762,9	762,9	762,9	704,4	845,6	838,4
Metanol ME	-	-	-	2291	29749	29749	29749	19908	19908	19460
DMF DIS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua H2O				2,7	46,87	46,87	46,87	45,37	45,37	45,37
Formiato de metilo FM	-	-	-	-	1207	1207	1207	12701	12701	11020
Ácido fórmico AF	-	-	-	-	2,37	2,37	2,37	2,14	2,14	2,14
Monóxido de carbono CO	8210	8210	8210	-	-	-	-	179,2448	179,2448	1,0248
Metóxido sódico MS	-	-	-	-	744	744	744	744	744	744
<b>TOTAL (kg/h)</b>	<b>8210</b>	<b>8210</b>	<b>8210</b>	<b>2294</b>	<b>31751</b>	<b>31751</b>	<b>31751</b>	<b>33581</b>	<b>33581</b>	<b>31273</b>

Tabla 1.8-b. Balance de materia de la planta de producción de ácido fórmico

Corriente	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	40	80	40	40	15	15	15	15	36	41
Presión (bar)	1,013	44,01	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013
Fracción vapor	1	1	1	1	0,2417	0	1	0	0	0,0168
Densidad (kg/m3)	1,9	78,95	1,912	1,912	373,5	797,3	1,722	938,5	834,6	85,66
Metanol ME	448	1150	1150	1598	1598	15,86	22,075	1592	20983	31845
DMF DIS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua H2O	0	1,5	1,5	1,5	12	0,09	0,1079	11,98	580	53,51
Formiato de metilo FM	1696	4732	4732	6428	6428		57,61	6370	17517	29286
Ácido fórmico AF	0	0,23	0,23	0,23	3,65		0,0002	3,6456	465,9661	16,63
Monóxido de carbono CO	178	495	495	673	673		672	0,5784	1,6031	1,6031
Metóxido sódico MS	-	-	-	-	-	-	-	-	744	-
<b>TOTAL (kg/h)</b>	<b>2322</b>	<b>6379</b>	<b>6379</b>	<b>8701</b>	<b>8715</b>	<b>15,95</b>	<b>752</b>	<b>7978</b>	<b>40292</b>	<b>61202</b>



Tabla 1.8-c. Balance de materia de la planta de producción de ácido fórmico

Corriente	21	21B	22	23	23A	23B	24	25	26	27
Temperatura (°C)	31	22	63	63	62	97	63	31	32	130
Presión (bar)	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	16,57	16,57
Fracción vapor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Densidad (kg/m3)	2,346	959,17	778,8	778,8			778,8	952,1	952	783,9
Metanol ME	1,52	2,52	30794	3336	3333	1,36	27458	1049	1049	1049
DMF DIS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua H2O	-	-	53,51	45,87	4,43	42,79	7,636	0,0014	0,0014	0,0014
Formiato de metilo FM	54,22	55,22	1306	67,12	67,08		1207	27924	27924	27924
Ácido fórmico AF	-	-	16,63	14,26		14,26	2,37	0,0002	0,0002	0,0002
Monóxido de carbono CO	1,3853	2,3853	-	-			-	0,2178	0,2178	0,2178
Metóxido sódico MS	-	-	744	-	-	-	744	-	-	-
TOTAL (kg/h)	57,14	60,14	32915	3463	3404	58,41	29420	28974	28974	28974



Tabla 1.8-d. Balance de materia de la planta de producción de ácido fórmico

Corriente	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Temperatura (°C)	25	60	60	130	130	87	63	130	132	132
Presión (bar)	1,013	1,013	16,57	16,57	16,57	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
Fracción vapor	0	0	0	0	0	0,1549	0	0	0,1278	0,0533
Densidad (kg/m3)	1008	995,9	996,2	933,8	843,8	17,34	858,5	997,8	4,369	42,45
Metanol ME	-	13,92	13,92	13,92	10878	10878	10864	13,89	13,89	13,89
DMF DIS-1	-	-	-	-	-	-	-	-	2738	2738
Agua H2O	3954	8408	8408	8408	4782	4782	53,51	4728	4734	4734
Formiato de metilo FM	-	0,3216	0,3261	0,3261	11771	11771	11771	0,3256	0,3256	0,3256
Ácido fórmico AF	-	1353	1353	1353	11318	11318	16,63	11301	11355,	11355
Monóxido de carbono CO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metóxido sódico MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL (kg/h)	3954	9776	9776	9776	38750	38750	22706	16044	18843,	18843



Tabla 1.8-e. Balance de materia de la planta de producción de ácido fórmico

Corriente	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Temperatura (°C)	123	132	177	120	120	120	25	120	127	40
Presión (bar)	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02
Fracción vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Densidad (kg/m3)	956,4	994,9	800,4	860,6	860,6	860,6	855,5	859,2	1036	1190
Metanol ME	13,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DMF DIS-1	-	2738	2550	2551	32,27	2519	218,2	2738	188,19	188,19
Agua H2O	4454	280,6	3,26	3,26	0,04	3,22	-	6	277,34	277,34
Formiato de metilo FM	0,3256	-	-	-	0	-	-	0	-	-
Ácido fórmico AF	1353	10004	58,55	58,58	0,74	57,84	-	54	9946	9946
Monóxido de carbono CO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metóxido sódico MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL (kg/h)</b>	<b>5821</b>	<b>13023</b>	<b>2612</b>	<b>2613</b>	<b>33,05</b>	<b>2580</b>	<b>218,2</b>	<b>2798</b>	<b>104112</b>	<b>10412</b>

## 1.9 PLANTILLA DE TRABAJADORES

La planta de ácido fórmico estará operativa durante 300 días al año con una parada de mantenimiento los meses de julio y agosto. Según las horas de producción de la planta se han distribuido el trabajo de la planta en tres turnos rotatorios: dos de día y uno de noche.

A continuación en la *Tabla 1.9-a* se detalla la cantidad de trabajadores y la posición:

Tabla 1.9-a. Tipos de trabajador

Tipo de trabajador	Cantidad
Jefe de planta	1
Especialista	10
Operario	35
Personal laboratorio	6
Personal de seguridad	3
Administrativos	15

- El jefe de planta se encargará de organizar y dirigir las actividades propias al desarrollo de la planta.
- Los especialistas se encargarán de supervisar los equipos y las tareas en las secciones de la planta.
- Los operarios serán los encargados de estar a pie de planta e informar de posibles fallos de los equipos a los especialistas.
- El personal de laboratorio tendrá la labor de realizar los análisis y controles de los reactivos, intermedios y productos para garantizar el correcto funcionamiento de la planta.
- Los administrativos tendrán bajo su responsabilidad los departamentos de recursos humanos, informática, contabilidad y la parte comercial.
- El personal de seguridad se encargará de vigilar la entrada y guiar a las posibles visitas hasta la parte de la planta que toque.

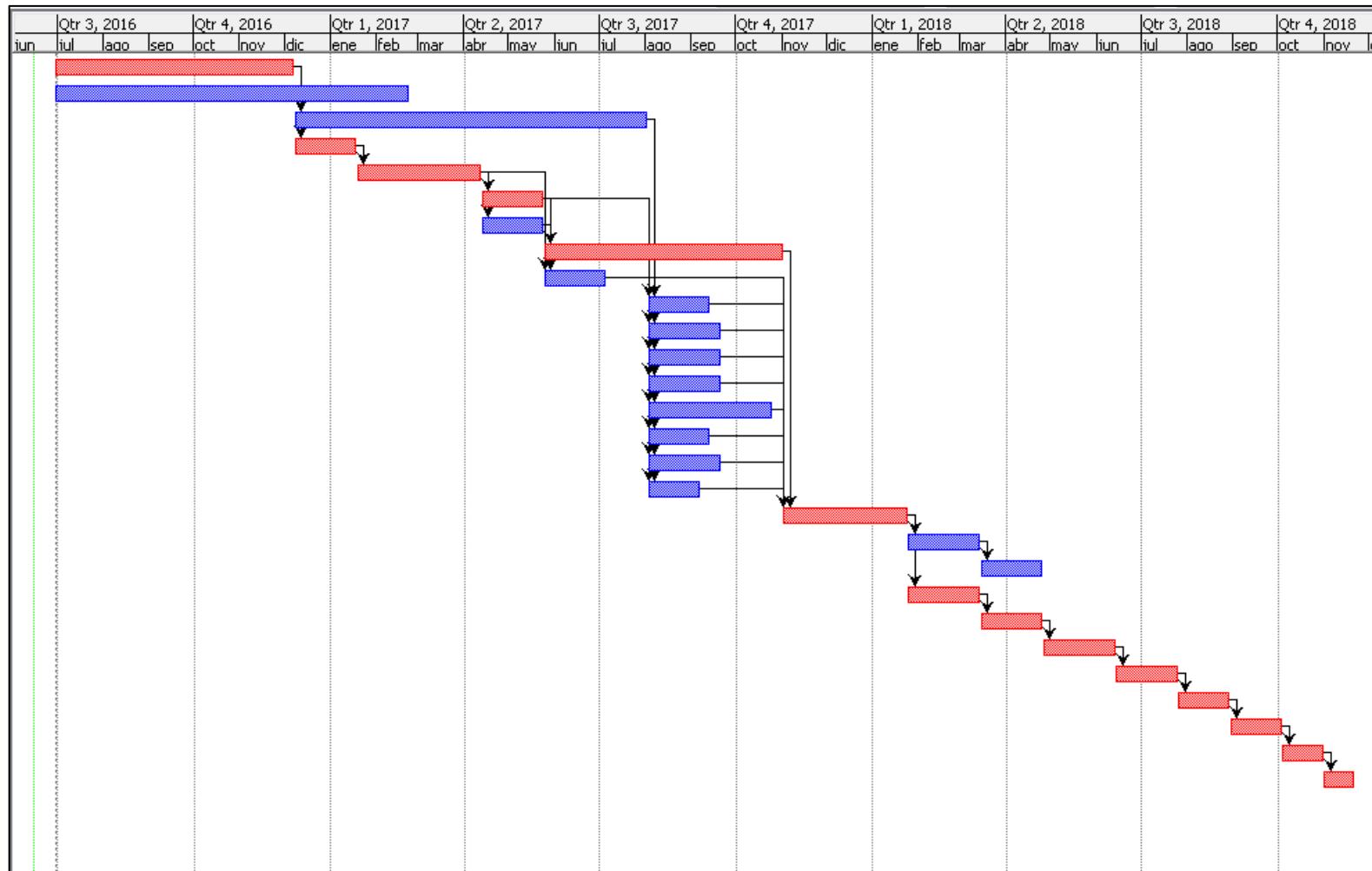


## 1.10 PROGRAMACIÓN TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA

En este apartado se presentan la programación temporal y el montaje de la planta de ácido fórmico. La planta de ácido fórmico se construirá en aproximadamente 2 años y tres meses según el diagrama de Gantt que aparece en la *Figura 1.10-a*. A continuación en la Tabla 1.10-a se especifican las tareas a realizar, la duración y la precedencia:

Tabla 1.10-a. Tareas, duración y precedencia

Número de tarea	Tarea	Duración	Precedencia
1	Licencia de obras	4 meses	-
2	Licencia de actividades	6 meses	-
3	Encargar equipos	6 meses	1:3
4	Limpieza terrenos	1 mes	1:4
5	Excavaciones	2 meses	4:5
6	Instalación de suministros	1 mes	5:6
7	Viales y aceras	1 mes	5:7
8	Edificio de oficinas	4 meses	6:8
9	Aparcamiento	1 mes	5,7:9
10	Área 100	1 mes	3,6:10
11	Área 200	1 mes y 5 días	3,6:11
12	Área 300	1 mes y 5 días	3,6:12
13	Área 400	1 mes y 5 días	3,6:13
14	Área 500	2 meses	3,6:14
15	Área 600	1 mes	3,6:15
16	Área 700	1 mes y 5 días	3,6:16
17	Área 800	25 días	3,6:17
18	Soportes ,escaleras, plataformas y barandillas	2 meses	8-17:18
19	Instalación de tuberías del proceso	1 mes y 5 días	18:19
20	Conexión tuberías del proceso	1 mes	19:20
21	Instalación tuberías de servicio	1 mes y 5 días	18:21
22	Conexión tuberías de servicio	1 mes	21:22
23	Instalación de instrumentación	1 mes y 5 días	22:23
24	Conexión instrumentos- equipos	1 mes	23:24
25	Aislamiento equipos	25 días	24:25
26	Aislamiento tuberías	25 días	25:26
27	Pintura	20 días	26:27
28	Limpieza	15 días	27:28



**Figura 1.10-a. Diagrama de Gantt de la programación de la planta**



## 1.11 REFERENCIAS

### 1.11.1 BIBLIOGRAFÍA

Robert H.Perry. (2001). *Perry. Manual del Ingeniero Químico.* Sexta edición. Mc Graw Hill. Madrid.

David R.Lide. (2003). *CRC Handbook of Chemistry and Physics.* Editor in Chief. National Institute of Standards and Technology. New York.

### 1.11.2 WEBGRAFÍA

Ferrocarrils generals de Catalunya. En línea. 2010. [consulta 10/04/2016]. Disponible en: <http://www.trenscat.com/fgc/>

NII conexión terrestre. En línea. 2008. [consulta 05/04/2016]. Disponible en: <http://www.dgt.es>

Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos. En línea. 2005. [consulta 09/05/2016]. Disponible en: <https://www.boe.es>

Clima de Igualada. En línea. 2008. [consulta 18/04/2016]. Disponible en: <http://es.climate-data.org>

Plan especial de emergencias sísmicas. En línea. 2011. [consulta 16/04/2016]. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org/>

El municipio de Igualada en cifras. En línea. 2005. [consulta 12/05/2016]. Disponible en: <http://www.idescat.cat>

Propiedades ácido fórmico. En línea. [consulta 04/04/2016]. Disponible en: <http://www.ehowenespanol.com>

Propiedades ácido fórmico. En línea. [consulta 04/04/2016]. Disponible en: <http://www.cosmos.com.mx>

Tabla compatibilidad ácido fórmico. En línea. [consulta 01/04/2016]. Disponible en: <http://www.genebre.es>

Process for the production of methyl formate. *US PATENT 4216339.*

Preparation of formic acid. *US PATENT 4218568.*