

# *1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO*

Planta de producción de ácido fórmico

*Josep Casas Brujas, Cristina Fuentes Siles, Jordan Rodriguez  
Gonzalez, Ivan Rodriguez San jose*

*Formic Industries |*



**FORMIC INDUSTRIES**

## Índice

<b>1.1.</b>	<b>Objetivo .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2.</b>	<b>Alcance del proyecto .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3.</b>	<b>Localización de la planta .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4.</b>	<b>Características del medio físico .....</b>	<b>5</b>
1.4.1.	Climatología .....	5
1.4.2.	Sismología .....	7
1.4.3.	Edafología.....	8
1.4.4.	El agua .....	8
<b>1.5.</b>	<b>Parámetros de edificación del terreno.....</b>	<b>10</b>
<b>1.6.</b>	<b>Abreviaciones y nomenclatura .....</b>	<b>10</b>
<b>1.7.</b>	<b>Zonas de la planta .....</b>	<b>10</b>
<b>1.8.</b>	<b>Nomenclatura de los equipos de proceso y servicios.....</b>	<b>11</b>
<b>1.9.</b>	<b>Nomenclatura de los fluidos de proceso .....</b>	<b>12</b>
<b>1.10.</b>	<b>Nomenclatura de los materiales de construcción.....</b>	<b>12</b>
<b>1.11.</b>	<b>Construcción de la planta.....</b>	<b>13</b>
<b>1.12.</b>	<b>Proceso área a área .....</b>	<b>13</b>
1.12.1.	A-100 Almacenaje de materias primas. ....	13
1.12.2.	A-200 Formación del Formiato de metilo. ....	14
1.12.3.	A-300 Separación del Formiato de metilo. ....	14
1.12.4.	A-400 Hidrólisis i formación del ácido fórmico.....	14
1.12.5.	A-500 Separación y purificación del ácido fórmico.....	15
1.12.6.	A-600 Almacenaje del ácido fórmico. ....	15
1.12.7.	A-700 Zona de Servicios. ....	15
1.12.8.	A-800 Zona de tratamiento de residuos. ....	20
1.12.9.	A-900 Oficinas y Laboratorios. ....	21
1.12.10.	A-1000 Parking y accesos.....	21
1.12.11.	A-1100 Sala de control.....	21
1.12.12.	A-1200 Carga y descarga de materias primas y productos .....	21
1.12.13.	A-1300 Almacén de muestras y archivo .....	22
1.12.14.	A-1400 Futuras ampliaciones de la planta.....	22
<b>1.13.</b>	<b>Corrosión y materiales .....</b>	<b>24</b>
<b>1.14.</b>	<b>Compuestos que intervienen en el proceso .....</b>	<b>25</b>
1.14.1.	Reactivos .....	25
1.14.2.	Productos .....	27
1.14.3.	Catalizador, CH <sub>3</sub> ONa.....	28
1.14.4.	Extractante .....	29
<b>1.15.</b>	<b>Reacciones .....</b>	<b>30</b>
<b>1.16.</b>	<b>Aplicaciones del ácido fórmico .....</b>	<b>31</b>
<b>1.17.</b>	<b>Diagrama de bloques .....</b>	<b>32</b>
<b>1.18.</b>	<b>Balances de materia .....</b>	<b>33</b>



### **1.1. Objetivo**

El objetivo del proyecto consiste en diseñar una planta química capaz de producir 75000 Ton/año de ácido fórmico con un 90% de pureza a partir de  $\text{CH}_3\text{OH}$  y  $\text{CO}$ .

Siguiendo la legislación correspondiente se presenta un estudio de la viabilidad de construcción y operación de la planta.

### **1.2. Alcance del proyecto**

A lo largo de la realización del proyecto se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- Diseño y especificación de todos los equipos de proceso.
- Diseño y especificación de los elementos de control del proceso.
- Diseño y especificación del sistema de higiene
- Diseño y especificación de las medidas de seguridad de la planta.
- Estudio de la puesta en marcha, operación y parada de planta.
- Estudio medioambiental y diseño de procesos para el tratamiento de residuos.
- Cumplimiento de las normativas y las disposiciones legales actuales.
- Análisis económico del proyecto.

### **1.3. Localización de la planta**

La planta se encuentra ubicada en un polígono industrial ficticio situado en la ciudad de Igualada de 8,12  $\text{Km}^2$ , capital de la comarca del Anoia, en la provincia de Barcelona.

La ciudad se encuentra a 67 Km de distancia de Barcelona, y en el municipio las principales actividades que se desarrollan son las relacionadas con la industria textil, papelera y de la piel. Es de especial relevancia la presencia de éste tipo de industrias debido a que el ácido fórmico es un producto de gran interés en estos campos y facilitará la búsqueda de compradores.



Es de vital importancia para el transporte de mercancías y temas logísticos que la ciudad esté bien comunicada. En este caso los principales accesos a la ciudad son por carretera. Actualmente, la vía más común para llegar a Igualada es la autovía A-2, a su paso entre Lérida y Barcelona. Existen otras carreteras importantes que pasan por Igualada, como la C-37 hacia Manresa y la C-241 hacia Montblanch, la C-15 y la comarcal C-1412 que une Igualada con Tremp pasando por Calaf y Ponts.

No obstante cabe destacar que aunque el transporte será por carretera la ciudad está dotada también de línea de ferrocarril, concretamente los FGC, que mediante la línea R6 comunican la ciudad con Barcelona y Martorell, otras zonas de gran actividad industrial.



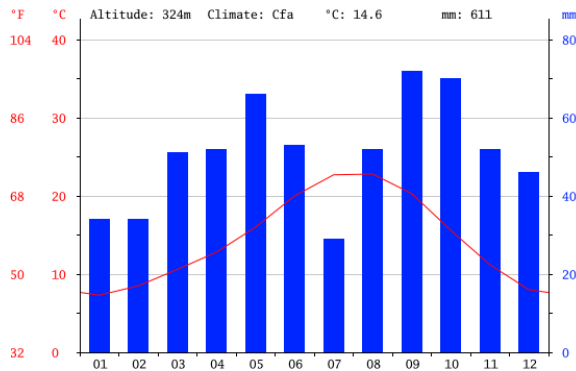
## 1.4. Características del medio físico

### 1.4.1. Climatología

El clima en Igualada es completamente de interior, seco y con saltos bruscos de temperatura entre el día y la noche. Esto facilita precisamente que en invierno hiele a menudo.

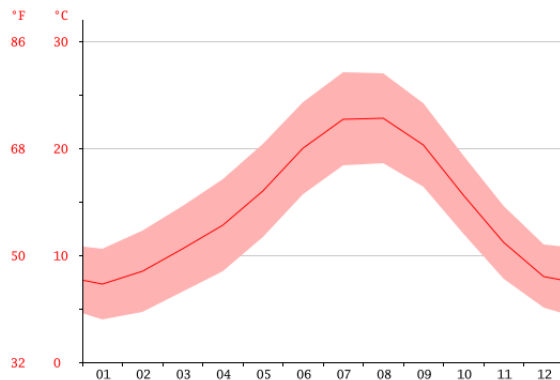
En invierno son muy típicas las nieblas bajas que precisamente en esta zona contribuyen también a la formación de hielo.

Los meses más lluviosos corresponden a los meses de otoño y primavera siendo septiembre el más lluvioso y junio el más seco. En el gráfico 1 podemos ver las precipitaciones y la temperatura mensual media de los últimos años en la ciudad de Igualada.



**Gráfico 1** Temperaturas y precipitaciones anuales

Tal i como se puede apreciar en el gráfico 2 de temperaturas medias a lo largo de los últimos años el mes más cálido es el julio, con una media de unos 23°C, aunque bastante condicionada por el gran salto térmico de temperatura entre el día y la noche ya comentado. Es sabido que en la zona se superan los 30°C en verano durante el día.



**Gráfico 2** Gráfico climático de temperatura

En la tabla climática 1 se adjuntan los valores promedios, máximos y mínimos de temperatura en función del mes, así como los milímetros de lluvia acumulados.

**Tabla 1** Tabla climática con los rangos de temperatura de la zona



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
°F	45.1	47.3	51.1	55.0	60.8	68.0	72.9	73.0	68.5	60.1	52.2	46.4
°F (min)	39.2	40.5	43.9	47.3	53.1	60.3	65.1	65.5	61.5	53.6	46.0	41.2
°F (max)	51.1	54.1	58.3	62.8	68.7	75.7	80.8	80.6	75.6	66.7	58.3	51.8

Todos estos aspectos climáticos han sido tenidos en cuenta para elaborar el diseño de equipos, válvulas y accesorios. Con especial atención a los que se encuentran en la intemperie.

#### 1.4.2. Sismología

Los efectos que puede producir cualquier fenómeno de tipo sísmico pueden ser de una magnitud devastadora, con esta razón es de vital importancia conocer las características sismológicas de la zona.

Los mapas de peligrosidad realizados por el IGN se utilizan en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico a la hora de definir las áreas de aplicación de dicha directriz. Por otro lado, dentro de las competencias del Instituto Geográfico Nacional se encuentra la coordinación de la normativa sismo resistente (NCSE-02) por lo que sus mapas de peligrosidad establecen las zonas y los niveles de aceleración sísmica que hay que considerar al realizar una nueva construcción en territorio español.

A continuación se muestra en la gráfico1 indicativo de las zonas en función de su aceleración sísmica.





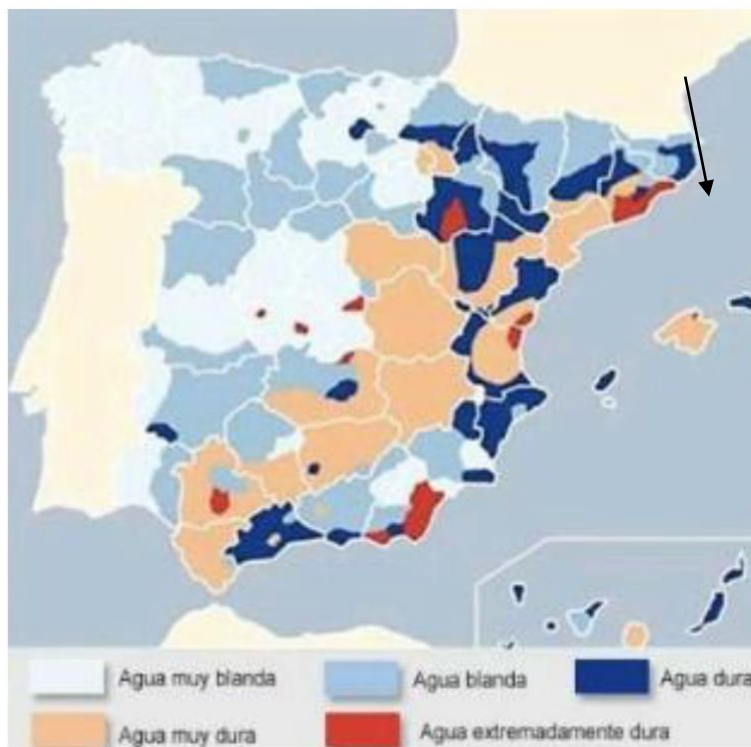
cabo posibles tratamientos con tal de no dañar equipos o que el proceso se vea afectado negativamente.

Una de las características mas importantes del agua es su dureza.

La dureza de una agua va referida a la cantidad de minerales (sales de magnesio y calcio) que están presentes en ella.

Tales sales disueltas pueden ocasionar problemas de acumulación de precipitados, corrosión, taponamiento de cañerías, etc. con lo que deben ser reducidas o eliminadas en la mayor medida posible .

A continuación se muestra en la ilustración 4 la distribución por zonas de la geografía española en función de la dureza de sus aguas.



**Ilustración 1** Mapa de las durezas del agua en función de las zonas

Tal y como se puede apreciar en la ilustración anterior la zona dónde la planta esta situada se encuentra en un área dónde el agua es extremadamente dura. Con tal de contrarrestar esta característica se ha llevado a cabo la instalación de una descalcificadora para que tal característica no influya en el proceso ni en los equipos.



### 1.5. Parámetros de edificación del terreno.

Como el supuesto polígono dónde se situaría la industria es ficticio se han tenido en cuenta los parámetros de edificabilidad presentados a continuación.

<b>EDIFICABILIDAD</b>	<b>1,5 [m<sup>2</sup> Techo/m<sup>2</sup> Suelo]</b>	
<b>OCUPACIÓN MÁXIMA DE PARCELA</b>	<b>DE</b>	<b>75%</b>
<b>OCUPACIÓN MÍNIMA DE PARCELA</b>	<b>DE</b>	<b>20% superficie de ocupación máxima</b>
<b>RETRANQUEOS</b>	<b>5 m a viales y vecinos</b>	
<b>ALTURA MÁXIMA</b>	<b>16 m i 3 Plantas exceptuando requerimientos de proceso justificados</b>	
<b>ALTURA MÍNIMA</b>	<b>4 m y 1 planta</b>	
<b>APARCAMIENTOS</b>	<b>1 plaza/150 m<sup>2</sup> construidos</b>	
<b>DISTANCIA ENTRE EDIFICIOS</b>	<b>1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m</b>	

### 1.6. Abreviaciones y nomenclatura

A continuación se muestran 5 tablas dónde se muestra toda la nomenclatura usada a lo largo de la memoria. Se encuentra pues nomenclatura para las áreas de la planta, los materiales de construcción, los equipos y los fluidos de proceso.

### 1.7. Zonas de la planta

<b>Área</b>	<b>Descripción de la zona</b>
<b>A-100</b>	Almacenaje materias primas
<b>A-200</b>	Formación Formiato de Metilo
<b>A-300</b>	Separación Formiato de Metilo
<b>A-400</b>	Hidrolisis
<b>A-500</b>	Separación y purificación
<b>A-600</b>	Almacenaje ácido fórmico
<b>A-700</b>	Servicios
<b>A-800</b>	Tratamiento residuos
<b>A-900</b>	Oficinas y laboratorios
<b>A-1000</b>	Parking y control de accesos
<b>A-1200</b>	Sala de control
<b>A-1300</b>	Llegada y descarga de materias primas y salida de productos
<b>A-1400</b>	Ampliaciones

### 1.8. Nomenclatura de los equipos de proceso y servicios

<b>Abreviación</b>	<b>Equipo</b>
<b>TA</b>	Tanque almacenaje
<b>R</b>	Reactor
<b>TD</b>	Columna rectificación
<b>Ex</b>	Columna extracción
<b>I</b>	Intercambiador de calor
<b>P</b>	Bomba
<b>CMP</b>	Compresor
<b>CND</b>	Condensador
<b>TC</b>	Tanque de condensados

<b>DCC</b>	Descalcificadora
<b>ET</b>	Grupo electrógeno
<b>V</b>	Válvula
<b>RB</b>	Reboiler
<b>W</b>	Balanza
<b>COL</b>	Colector
<b>S</b>	Separador gas-líquido

### 1.9. Nomenclatura de los fluidos de proceso

<b>Abreviación</b>	<b>Fluido de proceso</b>
<b>H<sub>2</sub>Op</b>	Agua
<b>Vp</b>	Vapor de agua
<b>AC</b>	Aire comprimido
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno
<b>A</b>	Aire
<b>GN</b>	Gas natural
<b>MET</b>	Metanol
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>FM</b>	Formiato de metilo
<b>AF</b>	Ácido fórmico
<b>NaM</b>	Metóxido de Sodio
<b>1-O</b>	1-Octanol

### 1.10. Nomenclatura de los materiales de construcción

<b>Abreviación</b>	<b>Fluido de proceso</b>
<b>H<sub>2</sub>Op</b>	Agua
<b>Vp</b>	Vapor de agua
<b>AC</b>	Aire comprimido
<b>N<sub>2</sub></b>	Nitrógeno



### **1.11. Construcción de la planta**

La planta de producción de ácido fórmico se ha construido siguiendo un modelo por áreas en función de las actividades que se realizan en cada una de ellas. A continuación se procede a exponer el proceso de producción de ácido fórmico a través de la explicación área a área las 15 zonas anteriormente mencionadas.

### **1.12. Proceso área a área**

#### **1.12.1. A-100 Almacenaje de materias primas.**

En esta zona se encuentran los tanques de almacenamiento de metanol y metóxido sódico, el catalizador de la reacción, que será almacenado en forma de disolución con metanol, y el extractante, el 1-octanol. Tales tanques estarán equipados con un sistema de sobrepresión mediante nitrógeno, que actuará como gas inerte con su consiguiente tanque de almacenamiento. Todo el sistema está regulado mediante válvulas automáticas de regulación de presión, de modo que no se requiere de ningún tipo de lazo de control en éste área. No obstante aun no teniendo lazos de control, los tanques disponen de un sistema de sensores y alarmas con tal de poder visualizar y seguir en todo momento el nivel de compuesto del que se dispone en los tanques.

Por otro lado se encuentra el tanque de almacenaje de agua procedente de la descalcificadora y que es empleada para llevar a cabo la reacción de hidrólisis en el segundo reactor. Éste no dispone de sistema de blanqueo con nitrógeno dado que no existe ningún peligro en contacto con el aire.

Por falta de tiempo y al disponer de una persona menos se a decidido considerar que el CO llega a la planta a la temperatura y condiciones de operación mediante cañería.



### **1.12.2. A-200 Formación del Formiato de metilo.**

En esta área tiene lugar la primera reacción del proceso,  $\text{MET} + \text{CO} \rightarrow \text{MF}$ , que se da catalizada por NaM y en condiciones isotermas en el reactor R-201 a alta presión. La reacción se lleva a cabo a  $80^{\circ}\text{C}$  y a 45 atmósferas de presión. Para poder realizar la entrada del CO a la correspondiente presión y temperaturas de trabajo es necesario el paso de éste en primer lugar por un intercambiador de calor con tal de aumentar un poco su temperatura para posteriormente realizar una compresión hasta las 45 atm. La misma compresión produce un aumento de temperatura en el gas que alcanza la temperatura de operación. La reacción es altamente exotérmica de modo que es necesario que el reactor esté equipado con un sistema de control de temperatura eficiente con tal de evacuar el exceso de calor y mantener la temperatura para que la reacción se de lugar isotérmicamente.

En éste área se encuentra también el mezclador MX-201, encargado de mezclar los corrientes recirculados de metanol con la entrada de metanol fresco y el de catalizador.

### **1.12.3. A-300 Separación del Formiato de metilo.**

Aquí se encuentran el separador S-301, con el fin de eliminar el CO sobrante de la reacción, y la torre de destilación TD-301, encargada de separar el metanol y el NaM sobrantes de la reacción del formiato de metilo. Éste último saldrá por arriba y será enviado al área A-400 para su posterior procesamiento mientras que el metanol sobrante será recirculado al mezclador MX-201 para su posterior reaprovechamiento en R-201.

### **1.12.4. A-400 Hidrólisis i formación del ácido fórmico.**

Nos encontramos aquí que el formiato de metilo procedente de la TD-301 es enviado al mezclador MX-401 para su unión con la recirculación procedente de la TD-502, para dirigirse al R-401 dónde se produce la hidrólisis del formiato de metilo con el agua introducida en el reactor. La reacción es auto catalítica con lo que con una posterior recirculación, procedente de la extracción, en el corriente de agua será introducida una parte de ácido fórmico. La reacción se da a una presión de 20 atm y unos  $110^{\circ}\text{C}$ .



#### **1.12.5. A-500 Separación y purificación del ácido fórmico.**

En ésta zona tenemos en primer lugar el separador S-501 para llevar a cabo una primera separación rápida de los componentes evitando así la posible reversibilidad de la reacción y eliminando parte del agua sobrante, metanol y formiato de metilo.

A continuación se encuentra la torre de destilación TD-501 que se encarga de separar el metanol y el formiato de metilo que salen de la columna por la parte superior, del ácido fórmico y el agua, que salen por la parte inferior de la columna y son enviados a la columna de extracción TEx-501, donde se pretende eliminar el agua mediante la extracción del ácido fórmico mediante 1-Octanol, mezcla que a su vez será separada posteriormente en una destilación, TD-504, obteniendo así ácido fórmico de la pureza requerida.

Por otro lado la mezcla metanol – formiato de metilo que se obtiene en la parte superior es enviada a la torre de rectificación TD-502, donde se separa el formiato por arriba que se recircula al R-401, y la mezcla metanol agua sale por abajo y se envía a la TD-503 donde se separa el metanol y se manda al R-201.

El corriente de colas de la TD-503 mandado constituido por una pequeña parte de metanol, ácido fórmico y agua a la zona 800 para su tratamiento.

#### **1.12.6. A-600 Almacenaje del ácido fórmico.**

Los tanques de almacenaje de ácido fórmico se encuentran cerca del área 1200 con tal de facilitar la carga y descarga de los camiones en un único punto. Esta zona está constituida por 4 tanques equipados con acondicionamiento térmico con tal de mantener el ácido fórmico a una temperatura superior a los 8°C con tal que éste no congele.

De todos modos el sistema de calefacción para los tanques solo será operativo en invierno dado que las temperaturas el resto del año se mantienen por encima.

#### **1.12.7. A-700 Zona de Servicios.**



El área de servicios está situada estratégicamente cerca del centro del recinto con tal de poder abastecer a toda la planta con mayor facilidad.

Debido a las condiciones de proceso, grandes liberaciones de energía, trabajos a elevadas presiones, se requieren gran número de servicios con tal de poder realizar el proceso bajo las condiciones de operación necesarias.

Las principales características de los servicios de planta se muestran en la siguiente tabla.

<b>ENERGIA ELÉCTRICA</b>	<b>Conexión des de la línea de 20 kV a pie de parcela .</b>
<b>GAS NATURAL</b>	Conexión a pie de parcela a presión media.
<b>ALCANTARILLA</b>	Red unitaria en el centro de la calle a 3,5 m de profundidad con un diámetro del colector de 800 mm.
<b>AGUA DE INCENDIOS</b>	Con una presión máxima 4 kg/cm <sup>2</sup> y la correspondiente estación de bombeo y reserva de agua
<b>AGUA DE RED</b>	Cometida a pie de parcela a una presión de 4 kg/cm <sup>2</sup> con un diámetro de 200 mm.
<b>TERRENO</b>	Resistencia del terreno de 2 kg/cm <sup>2</sup> a 1,5 m de profundidad sobre gravas

*Ilustración 2 Principales características de la llegada de los servicios a planta*

Con tal de facilitar la explicación se hará una explicación servicio a servicio.

#### **1.12.7.1. El agua**

#### **1.12.7.2. Agua de red**

Como es obvio, cómo cualquier otro tipo de edificación, requiere de una conexión con la red pública de agua (sin tratar o potable ) con tal de poder cubrir las necesidades básicas de los trabajadores, laboratorios, sistemas de riego, ...





Como se ha mostrado anteriormente en la tabla 5 la conexión a la red pública se realiza mediante una cometa a pie de planta de donde se obtiene el agua a una presión de 4kg/cm<sup>2</sup>.

La distribución del agua a lo largo de la planta se realiza mediante una red de tuberías que permite abastecer todas las zonas.

#### **1.12.7.3. Agua descalcificada**

El agua de red puede no tener las condiciones necesarias para la entrada en el proceso, en equipos como intercambiadores, bombas y calderas es de vital importancia que no circulen precipitados pues pueden dar lugar a incrustaciones y taponamientos, al igual que también son focos de corrosión. Por esta razón es necesario el uso de un equipo descalcificador y su correspondiente tanque de almacenaje de agua descalcificada con tal de eliminar el mayor número de sales en el agua y reducir al mínimo posible su dureza.

Cabe destacar que el uso de éste equipo quedará principalmente limitado a la puesta en marcha. El agua ya tratada no necesita otro tratamiento cuando está dentro del sistema con lo cual su caudal a tratar será mucho menor una vez en operación, dado que buena parte del agua necesaria es recirculada, y solo será necesario su uso en caso de que se requiera de la entrada de más agua al sistema.

El funcionamiento de este equipo será comentado posteriormente en el capítulo 2. Equipos. Se ha elegido un descalcificador de la empresa Culligan, en concreto el modelo HB 1700, modelo de los de mayor capacidad debido al gran volumen de agua a tratar.

#### **1.12.7.4. Vapor de agua**

Con tal de alcanzar las temperaturas a las cuales tiene lugar el proceso se requiere de vapor con tal de abastecer a equipos tales como intercambiadores de calor, termosifones, etc.

Con tal de poder generar la cantidad de vapor necesaria se ha escogido una caldera piro tubular con 3 pasos.

El diseño de las calderas queda fuera del alcance de este proyecto con lo cual se ha realizado un estudio de los requerimientos de vapor de los equipos con tal de escoger la caldera capaz de cubrir las necesidades de planta.

El caudal de vapor necesario para cubrir las necesidades de planta es de 115600 Kg/h, de los cuales 55000 kg/h se requieren a 185°C y los demás a 255°C, de modo que serán necesarias 3 calderas.

Una de ellas trabajará a 185°C mientras que las otras 2 trabajarán a 255°C.



**Ilustración 3** calderas del modelo empleado Bosch ZFR

<b>Datos Técnicos UNIVERSAL</b>		
<b>Tipo</b>	<b>ZFR</b>	<b>ZFR-X</b>
Medios de transferencia térmica	Vapor saturado de baja presión	Vapor sobrecalentado de alta presión
Tipo de construcción	3 pasos - doble hogar - técnica igneotubular	3 pasos - doble hogar - técnica igneotubular
Potencia en kg/h	18.000 a 55.000	18.000 a 55.000
Presión de diseño en bar	Hasta 30	Hasta 30
Temperatura máx. en °C	235	300
Combustible	Gasóleo C, Fuel-Oil, Gas	Gasóleo C, Fuel-Oil, Gas

**Ilustración 4** Datos principales de las calderas empleadas

#### **1.12.7.5. Gas natural**

Éste aspecto está altamente ligado con el apartado anterior, ya que los requerimientos de gas natural están directamente relacionados con los requerimientos de vapor dado que el consumo del gas viene dado por la caldera o calderas principalmente y en segundo lugar vendrá dado por el consumo del grupo electrógeno en caso de parada en el suministro eléctrico.

Así pues los requerimientos de gas natural serían del orden de los 450-500 m<sup>3</sup>/h, y para el grupo electrógeno de unos 400m<sup>3</sup>/h.



#### **1.12.7.6. Electricidad**

Los requerimientos eléctricos de la planta vienen dados principalmente por los consumos que tienen los equipos como las torres de refrigeración, las bombas y compresores, chillers y agitadores.

El suministro eléctrico a la planta llega a través de una línea de 20.000 voltios, con lo cual es necesario contar con una estación transformadora para que la planta pueda operar a 380V mayormente.

Con tal de evitar paradas de producción y posibles problemas ocasionados por el corte del suministro eléctrico se ha seleccionado un grupo electrógeno capaz de cubrir las necesidades energéticas de la planta.

Tales necesidades vienen dadas por la tabla siguiente:

CONSUMO ELÉCTRICO (KW)	
BOMBAS	150
TORRES REFRIGERACIÓN	70
CHILLERS	6330,00
AGITADORES	45
COMPRESORES	225
TOTAL	6820

#### **1.12.7.7. Aire comprimido**

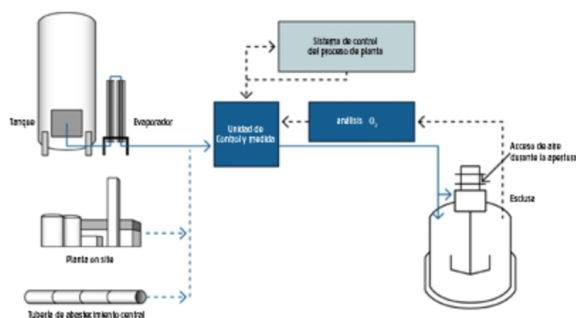
Otro servicio destacado es el de aire comprimido, necesario para el accionamiento de las válvulas neumáticas.

La red de aire comprimido consta fundamentalmente de un filtro, un compresor, un tanque de almacenaje de energía neumática y la correspondiente red de distribución. El pack viene dotado además con un accesorio con tal de eliminar la humedad presente en el mismo aire.

#### **1.12.7.8. Nitrógeno**

Debido al tipo de compuestos con los que se trabaja en la planta es necesario que varios de los tanques y equipos vayan inertizados con tal de poder mantener los niveles de seguridad que se estipulan.

Para disponer del nitrógeno suficiente para cubrir las necesidades de planta se requiere de un tanque criogénico de una capacidad de 150 m<sup>3</sup> de volumen suministrado por la empresa Linde. El sistema de inertización actúa sustituyendo la humedad de la parte del equipo que quedaría vacía por nitrógeno de alta pureza, que actúa como gas inerte y no interfiere en el proceso. Todo el sistema de inertización viene regulado por una válvula automática de control de presión que detecta automáticamente si el equipo se está llenando o vaciando compensando la presión mediante la entrada de nitrógeno.



**Ilustración 5** Esquema del sistema de inertización de nitrógeno

#### 1.12.7.9. Agua de refrigeración

El diseño de la torre o torres de refrigeración es directamente proporcional al caudal de agua de refrigeración a tratar, aunque también son factores determinantes factores como la velocidad del viento o humedad presente en el aire ambiente.

El sistema de refrigeración de agua se lleva a cabo en columnas de enfriamiento, en éstas el agua se recibe a unos 50-60°C y el objetivo de éstas es llegar a enfriarla hasta los 20-25°C.

Con tal de tener una mayor eficiencia se usarán torres de refrigeración con circulación en contracorriente con tal de aumentar la fuerza impulsora poniendo en contacto el agua más caliente con el aire más frío logrando así un mayor grado de enfriamiento.

#### 1.12.8. A-800 Zona de tratamiento de residuos.

La zona para el tratamiento de residuos, el área de medioambiente está constituida por dos partes diferenciadas, en primer lugar un quemador con tal de degradar los compuestos gaseosos que se producen a lo largo del proceso, y por otro lado, una EDAR, constituida por un reactor



biológico para llevar a cabo la degradación de los compuestos orgánicos que se obtienen y no se han podido aprovechar.

#### **1.12.9. A-900 Oficinas y Laboratorios.**

En ésta zona encontramos el edificio E-901 dónde se ubicarán los laboratorios. En tal emplazamiento se realizaran los controles de calidad y se desempeñaran las tareas necesarias para el buen funcionamiento de planta.

Además dichos laboratorios están dotados de una sección específicamente dedicada a la investigación y al desarrollo con tal de estudiar los puntos débiles del proceso y avanzar en el campo con el objetivo de poder mejorarlo y optimizarlo.

#### **1.12.10. A-1000 Parking y accesos.**

El acceso a la planta se encuentra en la calle XXX, está formado por una única entrada, controlada por el correspondiente personal de seguridad.

Las medidas del parking están de acuerdo con la normativa pertinente, en función del número de trabajadores de la planta.

#### **1.12.11. A-1100 Sala de control.**

Se trata del centro neurálgico de la planta, situada cerca de la zona de oficinas está fuera del edificio de proceso por razones de seguridad.

Des de la sala se realizan todas las tareas de control del proceso, se reciben alertas y se dan las órdenes con tal de mantener el proceso estacionario así cómo de asegurar un nivel de seguridad adecuado manipulando las variables controladas del proceso.

#### **1.12.12. A-1200 Carga y descarga de materias primas y productos**

Las materias primas necesarias para llevar a cabo este proceso, llegarán a ésta zona mediante camiones cisterna de 30 capacidad. También es el mismo emplazamiento donde se vendrán a



recoger los productos. En el suelo se dispondrá de dos balanzas, para controlar en todo momento el volumen de transporte.

#### **1.12.13. A-1300 Almacén de muestras y archivo**

Almacén para el material de laboratorio y los archivos resultantes de los análisis del producto y el proceso.

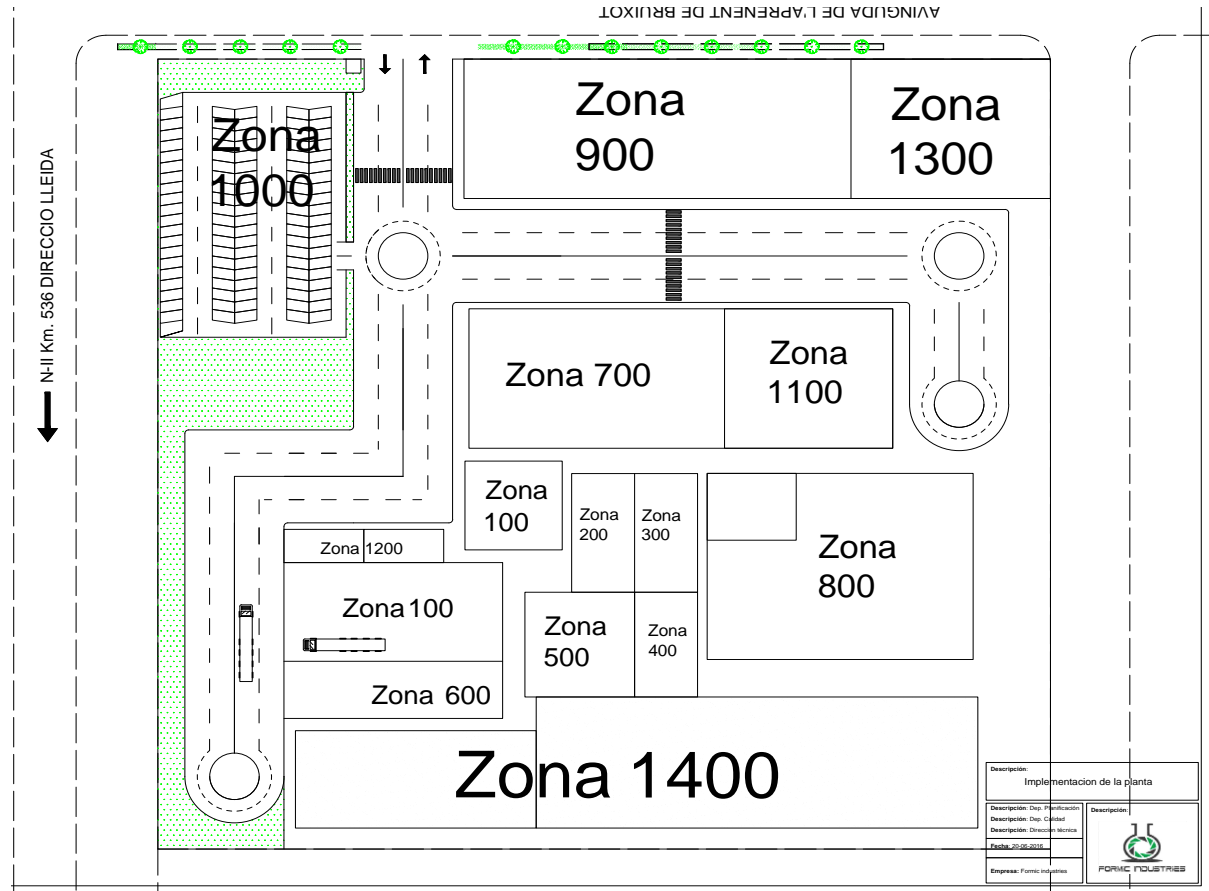
Por ley se requiere de un edificio con tales funciones.

#### **1.12.14. A-1400 Futuras ampliaciones de la planta**

Se trata de zonas específicamente reservadas en cada una de las áreas con tal de poder llevar a cabo en un futuro posibles ampliaciones en la planta o algún tipo de modificación en el proceso.



FORMIC INDUSTRIES



**Ilustración 6** Plano de la planta con su correspondiente distribución por área

### 1.13. Corrosión y materiales

Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de la planta es la corrosión. Los materiales utilizados a lo largo del proceso están continuamente en contacto con los fluidos de proceso y las propiedades de éstos pueden afectar a los materiales de construcción si dichas propiedades no se han tenido en consideración previamente.

La mayor afectación de degradación en los materiales se da principalmente en los materiales metálicos.

A continuación se muestra la tabla 10 donde se presentan los datos de los factores de corrosión para diferentes materiales empleados en la planta.

**Corrosion of Five Alloys in Boiling Aqueous Formic Acid Solutions**

**Test Conditions:** Average rate of duplicate specimens exposed in boiling 100-107 °C (212-223 °F) solutions for 96 hours except as noted. No aeration or deaeration.

Formic Acid	Corrosion Rate													
	Type 304 Stainless Steel				Type 316 Stainless Steel				Copper		C70600 (90-10 Cupro-Nickel)		Titanium	
	Test A		Test B*		Test A		Test B*		mm/y	mpy	mm/y	mpy	mm/y	mpy
1	.18	7	.36	14	.08	3	<.03	< 1	.03	1	.03	1	-	-
5	.79	31	1.07	42	.05	2	.20	8	.03	1	.03	1	-	-
10	1.34	53	1.52	60	25	10	.20	8	.03	1	.03	1	13	5
20	1.93	76	1.75	69	.28	11	.20	8	.20	8	.41	16	2.41	95
40	3.45	136	2.39	94	.10	4	.25	10	.12	5	.33	13	-	-
50	4.24**	167**	2.11	83	.51**	20**	.28	11	.25	10	.53	21	3.05	120
60	3.45**	136**	2.11	83	.46**	18**	.23	9	.05	2	.03	1	-	-
70	4.04**	159**	2.31	91	.48**	19**	.25	10	.76	30	.71	28	-	-
80	4.29**	169**	2.13	84	.48**	19**	.25	10	.20	8	.13	5	-	-
90	3.28**	129**	2.11	83	.28**	11**	.28	11	.23	9	.18	7	<.03	<1

\*Test solution changed each 24 hours of the 96-hour test.

\*\*Test discontinued after 48 hours because of concentration of corrosion salts in solution.

#### Ilustración 7 Espesores por corrosión requeridos

El AISI 304L, ha sido empleado para las columnas empleando eso si un recubrimiento de teflón con tal de darle mayor protección, otro de los materiales mas empleados ha sido el acero 316, que tiene un precio superior pero se ve menos afectado por el fenómeno de la corrosión. Otro de los materiales empleados para zonas dónde la corrosión alcanzaba niveles elevados y las condiciones de proceso lo permitían ha sido el PVDF, El polifluoruro de vinilideno o PVDF o fluoruro de polivinilideno es un fluoropolímero termoplástico altamente inerte químicamente. Se suele emplear en condiciones que requieren

mucha pureza, fortaleza y elevada resistencia a ácidos, bases y disolventes, a altas temperaturas, al envejecimiento y a los rayos ultravioleta.





Cabe destacar que no únicamente las fuentes de degradación son provocadas por el fenómeno de la corrosión. La situación exterior de algunos equipos como por ejemplo las columnas de destilación o los tanques de almacenaje hace que éstos equipos se vean afectados por las inclemencias meteorológicas, con lo cual es conveniente aplicar algún tipo de recubrimiento como pinturas aislantes y protectoras para reducir tal deterioro.

El recubrimiento interior se ha realizado mayormente con PTFE, teflón, un material completamente inerte y antiadherente, altamente resistivo a ataques de ácidos, bases y demás hidrocarburos, cosa que le confiere unas propiedades anticorrosivas ideales para el proceso además de poder utilizarse en un amplio rango de temperaturas.

#### **1.14. Compuestos que intervienen en el proceso**

A continuación se presentan unas tablas resumen con los valores correspondientes a las principales propiedades de los compuestos con los que se trata así como una breve descripción. Para una información más detallada consultar las fichas de seguridad correspondientes adjuntas en 11-14.

##### **1.14.1. Reactivos**

##### **1.14.1.1. Monóxido de carbono, CO**

Se trata de un gas inodoro, incoloro y altamente tóxico. Puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados. El monóxido de carbono es un gas industrial que tiene muchas aplicaciones en la fabricación de productos químicos a granel.

<b>CO</b>	
<b>Peso molecular</b>	28,011
<b>Punto de fusión [°C]</b>	-205,000
<b>Punto de ebullición [°C]</b>	-192,000
<b>Densidad Molar [kgmole/m3]</b>	0,041
<b>Densidad Másica [kg/m3]</b>	1,145
<b>Capacidad Calorífica [kJ/kg-C]</b>	1,039

Calor Específico [kJ/kgmole-C]	29,117
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	6143,590
Viscosidad cinemática [cSt]	15,882
Viscosidad [cP]	0,018
Volumen Molar [m <sup>3</sup> /kgmole]	24,454
Calor de Vaporización [kJ/kg]	219,329
Conductividad térmica [W/m-K]	0,025
Entalpia Molar [kJ/kgmole]	-110597,129
Entropia Molar [kJ/kgmole-C]	197,494

Ilustración 8 Propiedades para el CO

#### 1.14.1.2. Metanol, CH<sub>3</sub>OH

Se trata del alcohol más sencillo. A temperatura ambiente se presenta como un líquido ligero (de baja densidad), incoloro, inflamable y tóxico.

METANOL	
Peso molecular	32,042
Punto de fusión [°C]	-97,000
Punto de ebullición [°C]	65,000
Densidad Molar [kgmole/m <sup>3</sup> ]	23,163
Densidad Másica [kg/m <sup>3</sup> ]	742,175
Capacidad Calorífica [kJ/kg-C]	3,023
Calor Específico [kJ/kgmole-C]	96,855
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	36449,299
Viscosidad cinemática [cSt]	0,706
Viscosidad [cP]	0,524
Volumen Molar [m <sup>3</sup> /kgmole]	0,043
Calor de Vaporización [kJ/kg]	1137,551
Conductividad térmica [W/m-K]	0,180
Entalpia Molar [kJ/kgmole]	-240049,444
Entropia Molar [kJ/kgmole-C]	58,238



Ilustración 9 Propiedades para el metanol

### 1.14.2. Productos

#### 1.14.2.1. Formiato de Metilo, $C_2H_2O_4$

Éste compuesto es de vital importancia en la planta dado que es a la vez un producto y un reactivo.

El formiato de metilo se produce en la primera parte del proceso en la zona 200, y posteriormente es empleado como reactivo en el área 400.

FORMIATO DE METILO	
Peso molecular	60,052
Punto de fusión [°C]	-100,000
Punto de ebullición [°C]	32,000
Densidad Molar [kgmole/m <sup>3</sup> ]	15,794
Densidad Másica [kg/m <sup>3</sup> ]	948,429
Capacidad Calorífica [kJ/kg-C]	1,891
Calor Específico [kJ/kgmole-C]	113,532
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	27952,898
Viscosidad cinemática [cSt]	0,338
Viscosidad [cP]	0,320
Volumen Molar [m <sup>3</sup> /kgmole]	0,063
Calor de Vaporización [kJ/kg]	465,481
Conductividad térmica [W/m-K]	0,178
Entalpia Molar [kJ/kgmole]	-378454,687
Entropia Molar [kJ/kgmole-C]	47,127

Ilustración 10 Propiedades para el formiato de metilo

#### 1.14.2.2. Ácido fórmico, CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

El ácido metanoico, es un ácido orgánico de un sólo átomo de carbono, y por lo tanto el más simple de los ácidos orgánicos.

Entre otras propiedades el ácido metanoico es un ácido líquido, incoloro, de olor irritante, con punto de ebullición de 100,7 °C y de congelación de 8,4 °C y es completamente soluble en agua pues su cadena carbonada es muy corta y fácilmente ionizable.

ÁCIDO FÓRMICO	
Peso molecular	46,025
Punto de fusión [°C]	8,000
Punto de ebullición [°C]	101,000
Densidad Molar [kgmole/m <sup>3</sup> ]	26,235
Densidad Másica [kg/m <sup>3</sup> ]	1207,455
Capacidad Calorífica [kJ/kg-C]	2,044
Calor Específico [kJ/kgmole-C]	94,081
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	35985,833
Viscosidad cinemática [cSt]	1,206
Viscosidad [cP]	1,456
Volumen Molar [m <sup>3</sup> /kgmole]	0,038
Calor de Vaporización [kJ/kg]	781,876
Conductividad térmica [W/m-K]	0,193
Entalpía Molar [kJ/kgmole]	-418261,901
Entropía Molar [kJ/kgmole-C]	36,340

Ilustración 11 Propiedades para el ácido fórmico.

#### 1.14.3. Catalizador, CH<sub>3</sub>ONa

El metóxido de sodio (o metilato de sodio) es un compuesto orgánico de fórmula CH<sub>3</sub>ONa. Es un sólido incoloro, que se forma por la deprotonación del metanol y es ampliamente empleado como reactivo tanto a nivel industrial como en laboratorio. También es una base (álcali) cáustica muy peligrosa.



No se ha podido realizar un pertinente estudio acerca de la cinética del catalizador de modo que su adición al proceso será a priori en discontinuo. A lo largo de la puesta en marcha se introducirá la cantidad pertinente de metóxido de sodio, un 2,5% en peso del metanol a introducir en el reactor. El metóxido de sodio queda retenido en la primera parte del proceso, dónde debido a su temperatura de ebullición, muy similar a la del metanol, sale por colas de la columna TD-301 para ser recirculado al reactor R-201, de modo que las pérdidas de éste son únicamente debidas a las posibles trazas de agua que se recirculan de la parte final del proceso, que origina una reacción secundaria provocando la formación de pequeños cristales que quedan retenidos en el reactor, y la consiguiente eliminación de material de las purgas de proceso. Así pues se deja en manos de los futuros ingenieros de proceso el estudio adecuado de la cinética del metóxido sódico con tal de poder llevar a cabo la implementación del sistema de entrada de catalizador en continuo. Las instalaciones han sido diseñadas pensando ya en ésta futura implementación del sistema de alimentación de catalizador en continuo.

#### 1.14.4. Extractante

1 - OCTANOL	
Peso molecular	130,231
Punto de fusión [°C]	-16,000
Punto de ebullición [°C]	195,000
Densidad Molar [kgmole/m <sup>3</sup> ]	6,314
Densidad Másica [kg/m <sup>3</sup> ]	822,258
Capacidad Calorífica [kJ/kg-C]	2,285
Calor Específico [kJ/kgmole-C]	297,551
Heat of Vap. [kJ/kgmole]	49821,031
Viscosidad cinemática [cSt]	8,942
Viscosidad [cP]	7,353
Volumen Molar [m <sup>3</sup> /kgmole]	0,158



<b>Calor de Vaporización [kJ/kg]</b>	382,559
<b>Conductividad térmica [W/m-K]</b>	0,146
<b>Entalpia Molar [kJ/kgmole]</b>	-426350,104
<b>Entropia Molar [kJ/kgmole-C]</b>	153,794

El 1-octanol es un alcohol primario cuya cadena carbonada es lineal con ocho átomos de carbono. Se ha requerido de éste con tal de realizar la extracción del ácido fórmico, y a la vez su elevado punto de ebullición nos permite realizar la posterior destilación de éste con el ácido con tal de obtenerlo a la pureza requerida

#### **1.15. Reacciones**

Con tal de llevar a cabo la producción de ácido fórmico se llevan a cabo en la planta dos reacciones.

En primer lugar mediante las materias primas, el CO y el MET, se produce la carbonilación del metanol, dando lugar a formiato de metilo conjuntamente con metanol y monóxido de carbono no reaccionados. La reacción se lleva a cabo a elevadas presiones 45 atm y a 80°C y está catalizada por el metóxido de sodio. Bajo estas condiciones se obtiene una conversión de entre el 90-95% respecto a la masa de CO entrado. La degradación del catalizador no ha podido ser estudiada en profundidad y en un principio se trabajará discontinuamente para compensar la degradación de éste. No obstante todas las instalaciones están diseñadas pensando en la introducción de catalizador en continuo con tal que en un futuro próximo los ingenieros de planta puedan implementar tal método de trabajo.

La reacción de carbonilación es una reacción altamente exotérmica de modo que en el R-201 es de vital importancia el sistema de refrigeración y su correspondiente control de temperatura.

Por otro lado se da lugar una reacción de hidrólisis, dónde el formiato de metilo y el agua introducida en el proceso reaccionan dando lugar ácido fórmico y metanol. En este caso se trata de una reacción reversible, con lo que es necesario que la entrada del agua sea a una proporción de ligeramente superior a la entrada de formiato de metilo con tal de que el equilibrio se desplace y se pueda llevar a cabo la reacción. Además ésta se da a 20atm y 109°C, con lo que el



reactor R-401 encargado de llevar a cabo la reacción también dispondrá de un sistema de control de temperatura mediante una media caña.

En esta reacción a diferencia de la carbonilación no es necesaria la utilización de catalizador dado que ésta es auto-catalítica y parte del ácido fórmico que se produce es recirculado posteriormente y añadido al corriente de agua con tal de realizar dicha función.

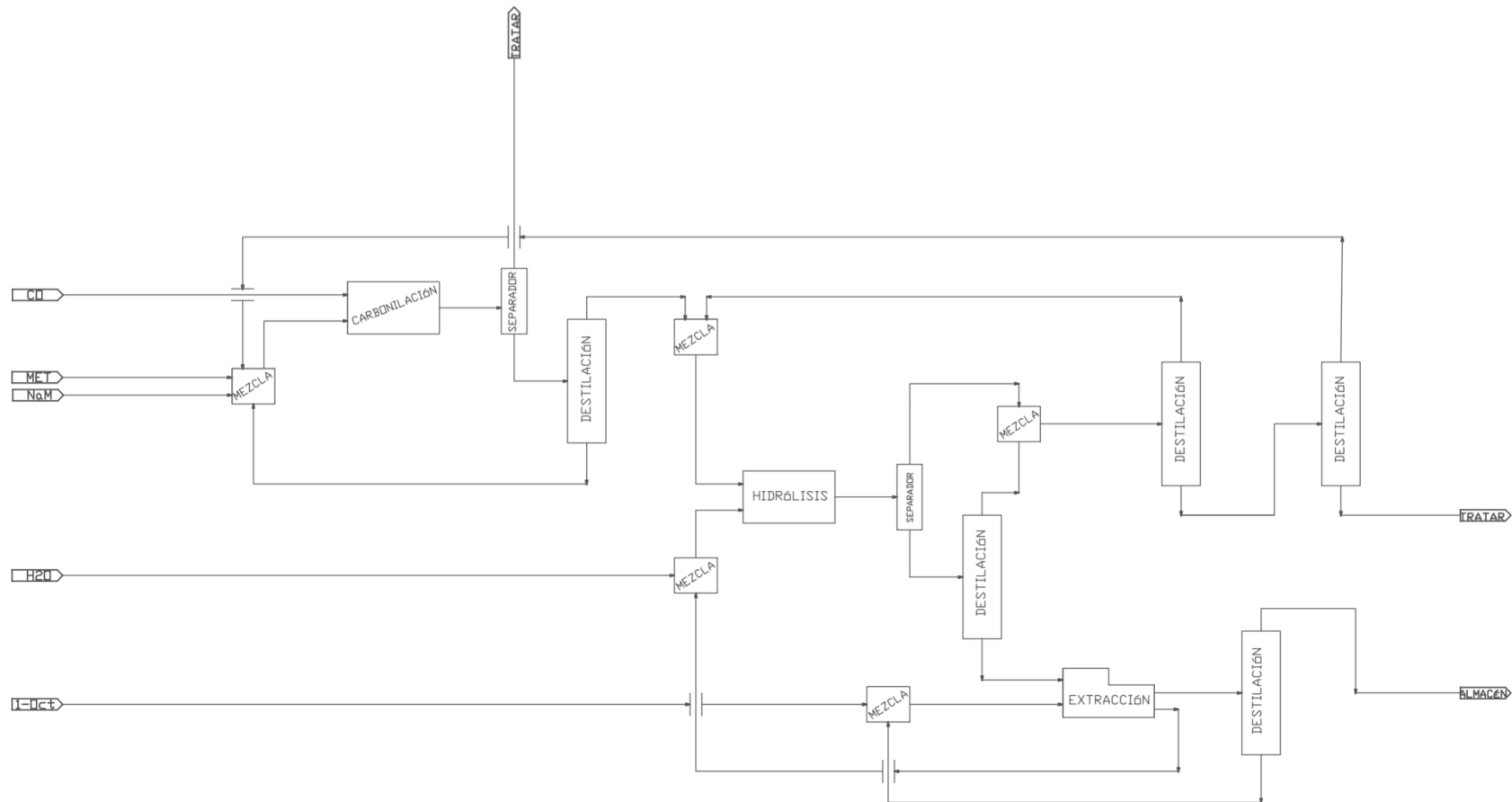
### **1.16. Aplicaciones del ácido fórmico**

Interesa que el producto a producir se atractivo de cara a las ventas con tal de elevar su número aumentando así los beneficios que estas mismas generan.

El ácido fórmico es un producto de gran versatilidad, algunos de los sectores dónde tiene una importancia significativa son los siguientes:

- En industria farmacéutica.
- En la industria del pesticida como Triazolone, Disinfest.
- En la industria química.
- En la industria de cuero.
- En la industria de textil.
- En la industria de goma.
- En la limpieza ácida de la producción de acero.
- Fabricación de la pulpa del papel.
- Como desinfectante.

### 1.17. Diagrama de bloques





1.18. Balances de materia

PROPIEDADES		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fracción de Vapor		1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00
Temperatura	<i>C</i>	80,0	45,0	46,7	48,1	80,0	80,0	43,3	5,0	5,0	5,1	40,0
Presión	<i>kPa</i>	4559,6	101,3	101,3	4559,6	4559,6	4559,6	101,3	101,3	101,3	304,0	304,0
Caudal Molar	<i>kgmole/h</i>	300,00	8,81	950,00	950,00	950,00	965,00	965,00	965,00	951,39	951,39	951,39
Caudal Másico	<i>kg/h</i>	8403	282	32898	32898	32898	40642	39787	39787	39335	39335	39393
Caudal Volumétrico	<i>m3/h</i>	10,51	0,35	40,72	40,72	40,72	46,03	46,03	46,03	45,55	45,55	45,55
Densidad másica	<i>kg/m3</i>	43,3	721,5	771,3	771,4	735,5	784,3	10,6	115,4	875,9	875,9	833,9

COMPOSICIONES MÁSCAS	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Metanol	0,00	1,00	0,77	0,77	0,77	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47
Formiato de metilo	0,00	0,00	0,23	0,23	0,23	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
CO	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00



<b>H2O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ácido fórmico</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>1-Octanol</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROPIEDADES		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<b>Fracción de Vapor</b>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Temperatura</b>	<i>C</i>	63,9	20,0	25,8	27,1	109,8	109,8	84,7	95,0	95,0	76,8	60,0	91,5	20,0
<b>Presión</b>	<i>kPa</i>	304,0	101,3	101,3	2000,0	2000,0	2000,0	202,6	202,6	202,6	101,3	101,3	101,3	101,3
<b>Caudal Molar</b>	<i>kgmole/h</i>	300,05	300,05	650,05	650,05	650,05	2450,05	2450,05	2450,05	1874,48	1874,48	1874,48	1584,55	1584,55
<b>Caudal Másico</b>	<i>kg/h</i>	17753	17753	38863	38863	38863	73521	73521	73521	49233	49233	49233	35763	35763
<b>Caudal Volumétrico</b>	<i>m3/h</i>	18,23	18,23	39,63	39,63	39,63	71,98	71,98	71,98	47,09	47,09	47,09	32,60	32,60
<b>Densidad másica</b>	<i>kg/m3</i>	891,6	972,5	965,2	965,0	829,7	904,8	26,1	8,4	940,6	18,8	976,6	956,5	1033,0

COMPOSICIONES MÁASICAS		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<b>Metanol</b>		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00



**FORMIC INDUSTRIES**

<b>Formiato de metilo</b>	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,34	0,34	0,34	0,17	0,17	0,17	0,00	0,00
<b>CO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>H2O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,41	0,41	0,54	0,54	0,54	0,72	0,72
<b>Ácido fórmico</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,21	0,21	0,21	0,29	0,29
<b>1-Octanol</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>PROPIEDADES</b>		<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
<b>Fracción de vapor</b>		0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,99	0,00
<b>Temperatura</b>	<i>C</i>	20,0	103,6	20,0	5,0	87,1	45,0	25,0	25,0	25,2	109,8	95,0	76,1	40,0
<b>Presión</b>	<i>kPa</i>	101,3	101,3	101,3	101,3	304,0	304,0	392,3	304,0	2000,0	2000,0	202,6	101,3	101,3
<b>Caudal Molar</b>	<i>kgmole/h</i>	546,30	250,00	250,00	13,61	651,35	651,35	664,56	1800,00	1800,00	1800,00	575,58	575,58	575,58
<b>Caudal Másico</b>	<i>kg/h</i>	45955	10536	10536	445	22852	22852	9826	32670	32670	32670	23886	23886	23886
<b>Caudal Volumétrico</b>	<i>m3/h</i>	50,96	8,74	8,74	0,53	27,32	27,32	12,00	32,67	32,67	32,67	24,89	24,89	24,89
<b>Densidad másica</b>	<i>kg/m3</i>	930,0	1059,0	1182,0	1,4	716,9	764,9	1007,4	1008,9	1009,3	941,6	2,8	1,5	938,5



COMPOSICIONES MÁSICAS	27	28	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	40
Metanol	0,00	0,00	0,00	0,04	0,79	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,13	0,13
Formiato de metilo	0,00	0,00	0,00	0,26	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,71	0,71
CO	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,02	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00	1,00	0,99	0,99	0,99	0,14	0,14	0,14
Ácido fórmico	0,23	0,92	0,92	0,00	0,06	0,06	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
1-Octanol	0,75	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROPIEDADES		41	42	43	45	46	47
Fracción de Vapor		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura	<i>C</i>	41	41	30,7	56,3	80,5	49,2
Presión	<i>kPa</i>	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3
Caudal Molar	<i>kgmole/h</i>	289,93	865,50	349,95	515,56	225,57	289,99
Caudal Másico	<i>kg/h</i>	13369	37254	21006	16248	5115	11133
Caudal Volumétrico	<i>m3/h</i>	14,49	39,38	21,40	17,99	4,94	13,05



Densidad másica	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	4,9	13,6	958,9	825,6	960,1	5,3
-----------------	-------------------------	-----	------	-------	-------	-------	-----

COMPOSICIONES MÁSCAS	41	42	43	45	46	47
Metanol	0,33	0,20	0,00	0,46	0,10	0,62
Formiato de metilo	0,62	0,67	1,00	0,25	0,00	0,37
CO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H <sub>2</sub> O	0,00	0,09	0,00	0,21	0,65	0,00
Ácido fórmico	0,06	0,04	0,00	0,08	0,25	0,00
1-Octanol	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PROPIEDADES		50	51	52	53	55	56
Fracción de vapor		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura	<i>C</i>	20,0	36,3	20,0	25,0	100,5	20,0
Presión	<i>kPa</i>	101,3	101,3	101,3	304,0	101,3	101,3



<b>Caudal Molar</b>	<i>kgmole/h</i>	1,42	288,73	288,73	1135,44	294,50	294,50
<b>Caudal Másico</b>	<i>kg/h</i>	185	34432	34432	23986	34371	34371
<b>Caudal Volumétrico</b>	<i>m3/h</i>	0,22	41,03	41,03	20,67	44,77	42,15
<b>Densidad másica</b>	<i>kg/m3</i>	826,0	824,4	838,0	969,9	749,6	839,5

<b>COMPOSICIONES MÁASICAS</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>56</b>
<b>Metanol</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Formiato de metilo</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>CO</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>H2O</b>	0,00	0,01	0,01	0,98	0,01	0,01
<b>Ácido fórmico</b>	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
<b>1-Octanol</b>	1,00	0,97	0,97	0,00	0,97	0,97