



UNIVERSIDAD  
TECNOLÓGICA  
NACIONAL  
FACULTAD  
REGIONAL  
DELTA

## CAPÍTULO 08.2

### Diagrama Isométrico

Producción de Ácido Tereftálico Purificado

## ÍNDICE

<b>08.2 Diagrama Isométrico.....</b>	<b>2</b>
<b>08.2.1 Diagrama isométrico de línea de alimentación fresca de p-xileno a TK-104 .....</b>	<b>2</b>
<b>08.2.2 Selección de sistema de bombeo .....</b>	<b>5</b>
08.2.2.1 Balance de energía mecánica.....	5
08.2.2.2 Selección preliminar de la bomba .....	7
08.2.2.3 NPSH, net positive suction head .....	9
08.2.2.4 Potencia .....	10
<b>08.2.3 Bomba P-102.....</b>	<b>11</b>

## 08.2 Diagrama Isométrico

Un diagrama isométrico, es un diagrama detallado que se utiliza para representar tuberías, accesorios, codos, válvulas, conexiones y equipamiento. Es una representación tridimensional, utilizado durante el proceso de montaje e instalación y también antes de los estudios de análisis de stress.

### 08.2.1 Diagrama isométrico de línea de alimentación fresca de p-xileno a TK-104

El p-xileno será almacenado en el TK-101 de materias primas, trasvasándose el volumen a utilizarse en el proceso de oxidación, al TK-101-1. El caudal requerido por el proceso, para la capacidad nominal de planta, es de 14,54 m<sup>3</sup>/h, lo que representa una demanda de 12516 kg/h.

Para esta línea se precisa tener un sistema de bombeo tal que transporte el fluido en cuestión desde el área de Materias Primas hacia la Zona 100, donde se encuentra el tanque de preparación de reactivos, TK-104, el cual opera a la presión del reactor, 22 bar. Tal como se muestra en la siguiente imagen;

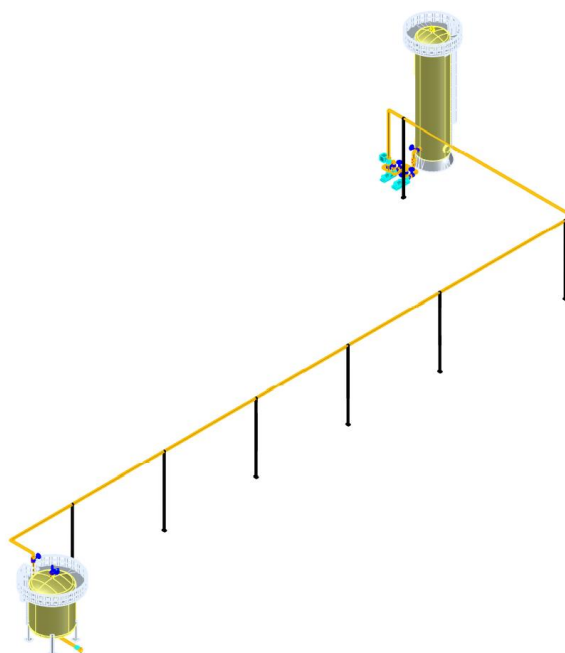
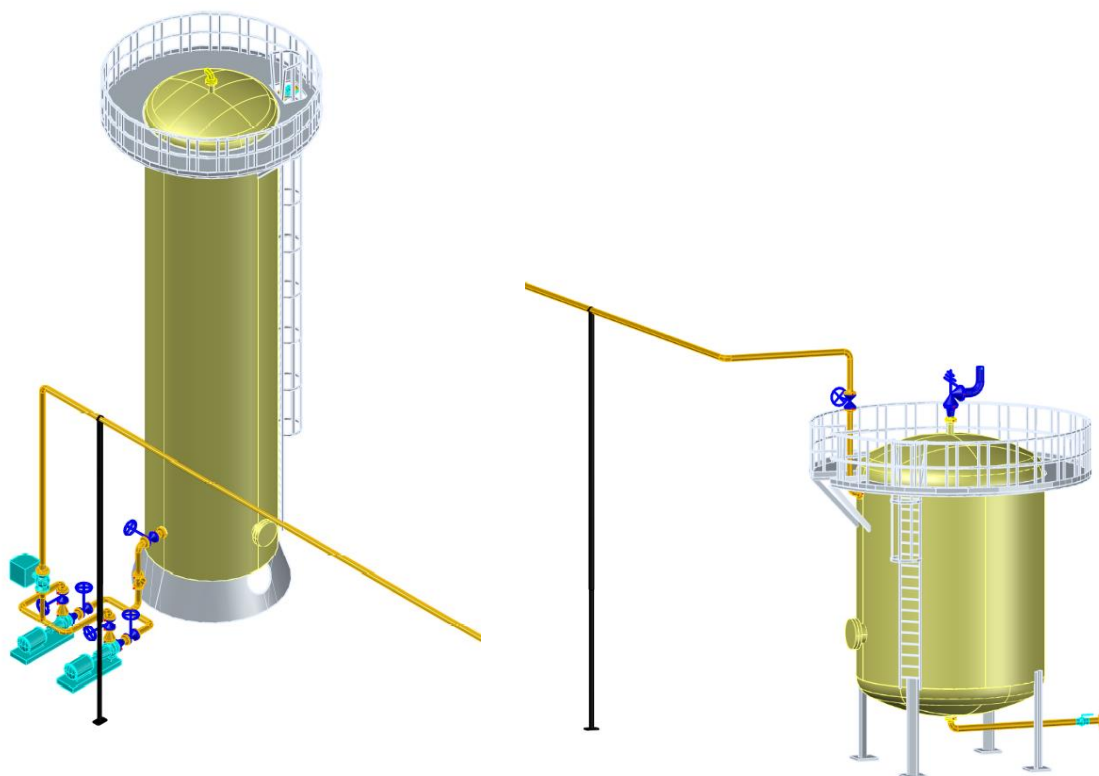


Ilustración 08.2.1-1: Diagrama isométrico. Fuente: Elaboración propia.

Debido a las propiedades del p-xileno y su afinidad con los materiales, las instalaciones de piping de esta línea deberán ser de acero AISI 316. Las bridas serán de serie 400 psi.

Cabe aclarar también que el compuesto en cuestión tiene un punto de fusión de  $13^{\circ}\text{C}$ , por lo que a temperaturas inferiores podría solidificarse la línea. Para evitar este evento, se instalará un tracing eléctrico autorregulado para el mantenimiento de la temperatura de pared a  $65^{\circ}\text{C}$  y una potencia requerida de 25 W/m.

A continuación, se presentan las vistas en detalle del diagrama isométrico además en el Anexo J, se dispone del plano isométrico.



*Ilustración 08.2.1-2: Vista en detalle TK-101-1 y TK-104*



*Ilustración 08.2.1-3: Vista frontal. Fuente: Elaboración propia*

### 08.2.2 Selección de sistema de bombeo

La parte del proceso a considerar para este estudio es la alimentación fresca de p-xileno, reactivo limitante de la reacción de oxidación, hacia el tanque de premezcla, TK-104.

Para seleccionar la bomba que mejor se adapte a las condiciones que demanda el sistema se debe realizar un balance de energía mecánica y demás ecuaciones accesorias, en estado estacionario, con el objetivo de determinar el caudal operativo y la altura que debe desarrollar la bomba para cumplir con los requerimientos del proceso.

#### 08.2.2.1 Balance de energía mecánica

Teniendo en cuenta los parámetros del p-xileno que se resumen en la siguiente tabla:

Parámetros de proceso		
Descripción		Unidad
Caudal másico	12516	kg/h
Caudal volumétrico	14,5	m <sup>3</sup> /h
Temperatura	25,0	°C
Densidad	865,0	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	7,60E-04	Pa.s
Presión de almacenamiento	1	bar
Presión operativa	22	bar

Tabla 08.2.2-1: Parámetros de proceso Línea 001. Fuente: Elaboración propia

El primer paso por realizar es estimar una velocidad operativa. Esto se hace tomando como referencia un valor de velocidad económica y velocidades características de fluidos, considerando viscosidad y densidad constantes.

Para el p-xileno, al ser un fluido liviano, los rangos sugeridos son: 0,3 – 0,9 m/s en la succión de la bomba y, 1,2 – 2,4 m/s en la descarga. Para la Línea de Proceso se recomiendan valores de 1,2 – 2,4 m/s.

Seguidamente, se debe enumerar los accesorios, válvulas e instrumentos en los tramos de cañería a evaluar, ya que, se requiere determinar la longitud equivalente de los mismos. Para realizar esta estimación se deben conocer los valores de las constantes de pérdidas por fricción para accesorios y válvulas. Estos valores son obtenidos consultando la tabla

6-5 “Additional Frictional Loss for Turbulent Flow Through Fittings and Valves”,  
Perry’s Chemical Engineer’s Handbook – 9th Ed.

Los valores obtenidos son presentados en la siguiente tabla:

SUCCIÓN			
Accesorios	Cantidad	K	K <sub>eq</sub>
Codo 90°	3	0,75	2,25
TEE	1	0,40	0,40
V. Esclusa	2	0,17	0,34
Check valve	0	2,00	0
Filtro Y	1	0,10	0,10
		<b>ΣK</b>	<b>3,09</b>

DESCARGA			
Accesorios	Cantidad	K	K <sub>eq</sub>
Codo 90°	7	0,75	5,25
TEE	1	0,40	0,40
V. Esclusa	2	0,17	0,34
Check valve	1	2,00	2,00
Control valve	1	6,00	6,00
Flow meter	1	6,00	6,00
Filtro Y	0	0,10	0,00
		<b>ΣK</b>	<b>19,99</b>

Tabla 08.2.2-2: Pérdida adicional por fricción para flujo turbulento a través de accesorios y válvulas. Fuente: Elaboración propia.

La ecuación del balance de energía mecánica establece que en un sistema la carga, H, es constante.

$$\frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + h_L = H_{sist}$$

Donde,

$$h_L = \frac{v^2}{2g} \left( f_D \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right)$$

El factor de fricción de Darcy puede determinarse tanto gráfica como analíticamente, por aproximación. Para agilizar el procedimiento de cálculo se utilizará la correlación de Haaland.

$$f_D = \left\{ -1,8 \cdot \log \left[ \frac{6,9}{Re} + \left( \frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,11} \right] \right\}^{-2}$$

A continuación, se presentan los valores de caudal vs carga que demanda el sistema. Estos se obtienen del balance de energía mecánica:

Demanda del sistema	
Q, m <sup>3</sup> /h	H <sub>sist</sub> , m
-	257,26
5,00	258,82
10,00	263,50
15,00	271,30
20,00	282,21
25,00	296,24
30,00	313,40
35,00	333,67
40,00	357,06
45,00	383,57
50,00	413,19

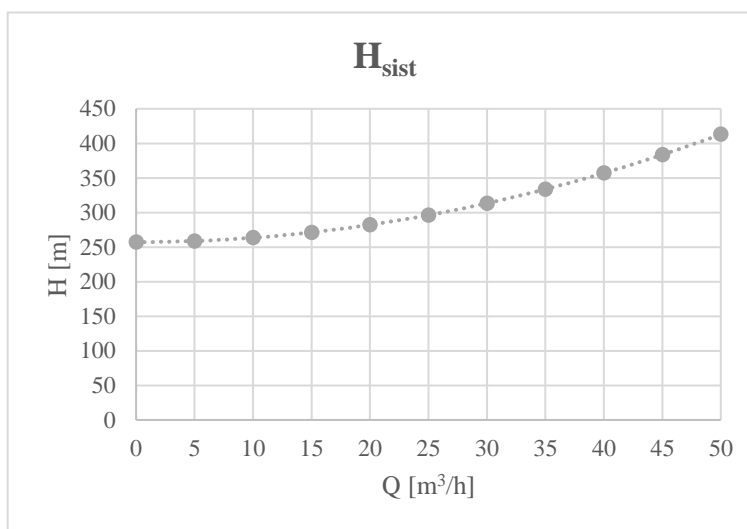


Tabla 08.2.2-3: Curva de la demanda del sistema, obtenida del Balance de energía mecánica de la línea de alimentación de p-xileno a TK-104. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, son determinados los requerimientos del proceso. Esto implica que será necesario una bomba tal que pueda entregar una altura desarrollada mayor a 272 m, 22 bar de presión, y un caudal cercano a los 15 m<sup>3</sup>/h. También, los materiales constructivos tienen que ser compatibles con el compuesto a bombear debido a la corrosividad que este presenta.

La zona de bombeo implica una atmósfera explosiva. Por cuestiones de seguridad, el sistema elegido, deberá ser provisto de un sello mecánico que minimice el riesgo de goteo del producto a bombear.

#### 08.2.2.2 Selección preliminar de la bomba

Dado que tanto la carga que demanda el sistema como la presión requerida de bombeo son valores elevados, se elige una bomba tentativa para el servicio. La misma será del tipo multietapa. Las bombas multietapa horizontales con varias etapas de impulsor



conectadas en serie son perfectas para aplicaciones donde se requiera una gran altura, tales como el aumento de presión y el trasiego de líquidos en casi cualquier aplicación industrial.

De manera preliminar, se elige una bomba horizontal multietapa marca Grundfos. Mediante el uso del sitio web del fabricante, podemos estimar aquella que mejor se adapta a nuestras condiciones de proceso y es la siguiente: Bomba Grundfos, Modelo BMS 7-42 HS-B-C-P-B.

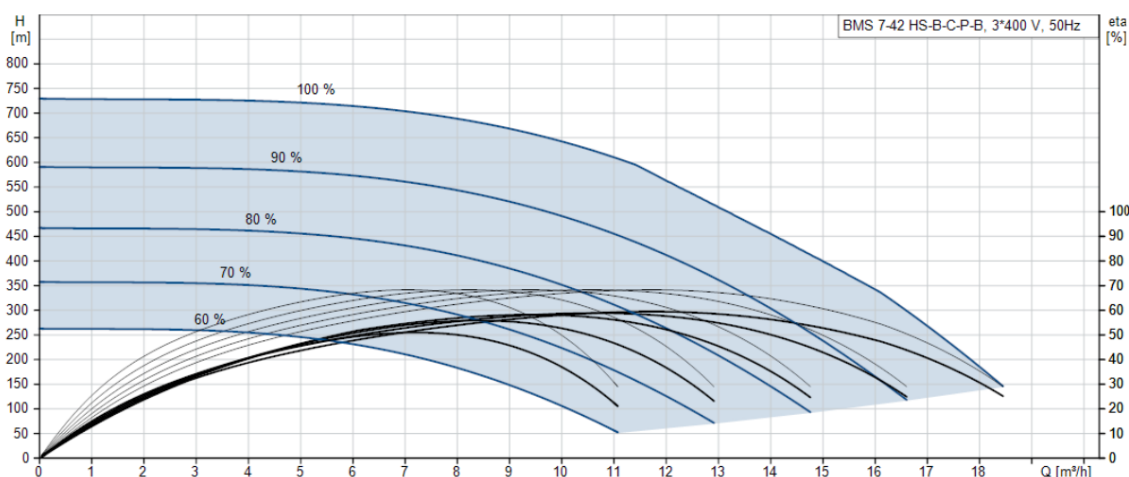


Ilustración 08.2.2-1: Curvas de desempeño Bomba Grundfos BMS 7-42 HS-B-C-P-B. Fuente: <https://www.grundfos.com/ar>

Graficando el caudal deseado vs la altura que demanda el sistema, podemos obtener la intersección con la curva característica de la bomba que mejor se adapta a los requerimientos de proceso.

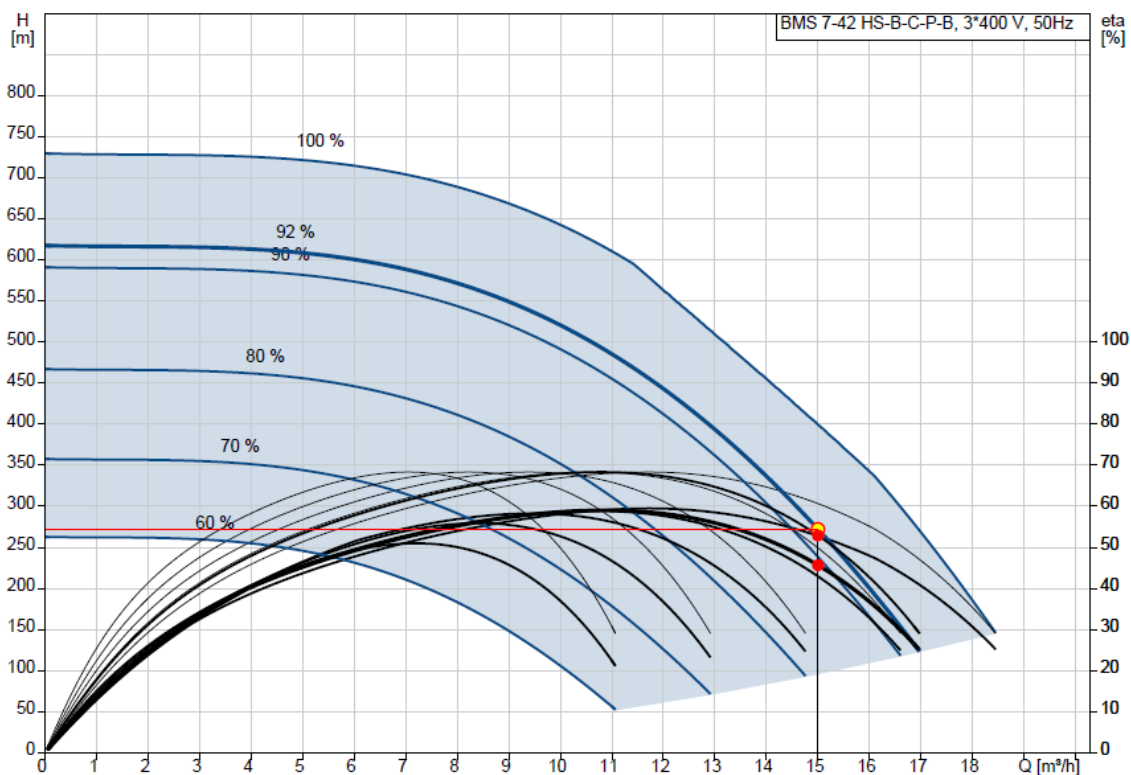


Ilustración 08.2.2-2: Curva de desempeño con punto de intersección de demanda del sistema. Fuente: <https://www.grundfos.com/ar>

Es así como se determina que esta bomba es apta para el servicio.

### 08.2.2.3 NPSH, net positive suction head

Si la presión de succión es sólo ligeramente mayor que la presión del vapor es posible que una fracción del líquido se evapore súbitamente dentro de la bomba, dando lugar a un proceso llamado cavitación, el que reduce de manera importante la capacidad de la bomba y causa una severa erosión en el impulsor. Si la presión de succión es en realidad menor que la presión del vapor, se producirá vaporización en la línea de succión, y el líquido no puede entrar en la bomba.

Para evitar la cavitación, es preciso que la presión a la entrada de la bomba exceda a la presión de vapor en un cierto valor, llamado carga neta de succión positiva (NPSH, net positive suction head).

El valor requerido de la NPSH es alrededor de 2 a 3 m (5 a 10 ft) para bombas centrífugas pequeñas; pero el valor aumenta con la capacidad de la bomba, la velocidad del rotor y la presión de descarga. Valores hasta de 15 m (50 ft) se recomiendan para bombas muy

grandes. Para una bomba que succiona desde un reservorio (depósito), como el que se muestra en la figura 8.5, la NPSH disponible se calcula comúnmente como

$$NPSH_{dis} = \frac{P_1 - P_{vap}}{\rho g} + Z_1 - Z_S - h_{LS}$$

Donde:

- P1: Presión primaria del sistema, es la presión manométrica del TK-101-1, más la presión estática de la columna de líquido.
- P<sub>vap</sub>, presión de vapor del p-xileno, 0,0889 kPa @20°C.
- Z1, altura de descarga del tanque, 1 m.
- Z<sub>S</sub>, altura de descarga de p-xileno en TK-104, 0,5 m.
- h<sub>LS</sub>, pérdida de carga por fricción en la succión, 0,1826 m @14,9 m<sup>3</sup>/h.

Resultando

$$NPSH_{dis} = 17,74 \text{ m}$$

Según la curva de la bomba seleccionada, el NPSH<sub>req</sub> es de 1 bar, lo que en términos de columna de p-xileno representa 11,2 m.

Esto implica que el NPSH<sub>dis</sub> del sistema es superior a este y también cumple con lo mencionado en párrafos anteriores.

#### 08.2.2.4 Potencia

La potencia que el impulsor transmite al fluido, potencia hidráulica, se representa por N. Esta, se calcula a partir del trabajo desarrollado

$$N = \rho g \Delta H Q$$

Por otro lado, la potencia desarrollada en el eje de la bomba, potencia consumida por esta, se denomina potencia al freno o brake power, N<sub>b</sub>. Conocer este valor implica afectar la potencia hidráulica por el rendimiento según las curvas de desempeño.

$$\eta \equiv \frac{N}{N_b} \Rightarrow N_b = N \cdot \eta$$

Resultando

$$N = 9592 \text{ W} = 12,9 \text{ HP}$$

$$Nb = 10426 \text{ W} = 13,97 \text{ HP} @ \eta = 92\%$$

### 08.2.3 Bomba P-102

Según los resultados obtenidos, como se mencionó anteriormente, la bomba que más se adecúa a los requerimientos del proceso es una multi etapa horizontal de la marca Grundfos. La misma se ilustra en la siguiente imagen:



Ilustración 08.2.3-1: Bomba Grundfos, Modelo BMS 7-42 HS-B-C-P-B. Fuente: <https://www.grundfos.com/ar>

La selección de esta marca también fue bajo criterios de confiabilidad, calidad y durabilidad. También se tiene en cuenta la variedad en la oferta de sus productos, lo que nos permite contar con una amplia cantidad de alternativas que se ajustan a las diferentes capacidades requeridas en la planta, cargas, presiones y temperaturas.

Por último, la mayor ventaja que tienen es que son ampliamente utilizadas en la industria de proceso, esto indica que será sencillo conseguir los repuestos necesarios.

Especificaciones técnicas		
Descripción		Unidad
Modelo	BMS 7-42 HS-B-C-P-B	
Velocidad	5000	rpm
Tamaño	3680	mm
Capacidad máxima	18	m <sup>3</sup> /h
Carga máxima	725	m
Presión máxima	82,7	bar

Tabla 08.2.3-1: Especificaciones técnicas de bomba seleccionada. Fuente: Elaboración propia.