



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ÁREA DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS,
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA**

TRABAJO FIN DE MÁSTER N° TFM18010115

**PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE UN SISTEMA DE
COMPRESIÓN MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE UN
NUEVO COMPRESOR**

ANEXOS

D. GÓMEZ ESCALANTE, PABLO

TUTOR: D. FERNÁNDEZ GARCÍA, FRANCISCO JAVIER

FECHA: Julio 2018



ÍNDICE

1.- CÁLCULOS	1
1.1.- Cálculo de la zapata	1
1.2.- Método de cálculo de las tuberías.....	2
1.3.- Tensiones admisibles.....	2
1.4.- Coeficiente de uniones soldadas.....	2
1.5.- Coeficiente de pérdidas de carga	3
1.6.- Presión de prueba hidrostática.....	3
2.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA	4
2.1.- Pérdidas nitroducto actual.....	4
2.1.1.- Primer escenario.....	4
2.1.2.- Segundo escenario.....	6
2.1.3.- Tercer escenario	9
2.2.- Pérdidas nitroducto nuevo	11
2.2.1.- Cuarto escenario.....	11
2.2.2.- Quinto escenario	13
3.- SEGURIDAD	17
3.1.- Identificación de los riesgos.....	17
3.2.- Reducción de los riesgos.....	17
3.2.1.- Riesgo por rotura mecánica:	17
3.2.2.- Riesgo por salida de producto conducido.....	18
3.2.3.- Riesgos en caso de incendio.....	18
3.2.4.- Descarga eléctrica.....	18
3.2.5.- Atrapamiento con partes móviles o rotativas.....	19
3.3.- Riesgos residuales.....	19
3.4.- Riesgos del montaje.....	19
4.- INSTRUCCIONES EN CASO DE EMERGENCIA	20



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 2.1.-Datos previos primer escenario	4
Tabla 2.2.-Pérdidas lineales primer escenario.....	5
Tabla 2.3.-Pérdidas singulares de codos primer escenario	5
Tabla 2.4.- Pérdidas singulares de T's primer escenario	6
Tabla 2.5.- Pérdidas singulares de válvulas primer escenario	6
Tabla 2.6.-Pérdidas totales primer escenario.	6
Tabla 2.7.- Datos previos segundo escenario.....	7
Tabla 2.8.-Pérdidas lineales segundo escenario.....	7
Tabla 2.9.-Pérdidas singulares de codos segundo escenario.....	8
Tabla 2.10.-Pérdidas singulares de T's segundo escenario.....	8
Tabla 2.11.-Pérdidas singulares de válvulas segundo escenario	8
Tabla 2.12.-Pérdidas totales segundo escenario.....	9
Tabla 2.13.-Datos previos tercer escenario	9
Tabla 2.14.-Pérdidas lineales tercer escenario	10
Tabla 2.15.-Pérdidas singulares de codos tercer escenario	10
Tabla 2.16.- Pérdidas singulares de T's tercer escenario	10
Tabla 2.17.-Pérdidas singulares de válvulas tercer escenario	11
Tabla 2.18.- Pérdidas totales tercer escenario.....	11
Tabla 2.19.- Datos previos cuarto escenario	12
Tabla 2.20.-Pérdidas lineales cuarto escenario	12
Tabla 2.21.-Pérdidas singulares de codos cuarto escenario	12
Tabla 2.22.-Pérdidas singulares de T's cuarto escenario	13
Tabla 2.23.-Pérdidas singulares de válvulas cuarto escenario	13
Tabla 2.24.-Pérdidas totales cuarto escenario	13
Tabla 2.25.-Datos previos quinto escenario.....	14
Tabla 2.26.-Pérdidas lineales quinto escenario	14
Tabla 2.27.-Pérdidas singulares de codos quinto escenario.....	15
Tabla 2.28.-Pérdidas singulares de T's quinto escenario.....	15
Tabla 2.29.-Pérdidas singulares de válvulas quinto escenario.....	15
Tabla 2.30.-Pérdidas totales quinto escenario.....	16



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.



1.- CÁLCULOS

En lo que respecta a este apartado se hará distinción entre dos aspectos fundamentales del proyecto. Por una parte, los relativos al compresor que consistirán sólo en el cálculo de la zapata soporte, ya que todos los cálculos relativos al compresor serán realizados por el fabricante. Por otra los cálculos de resistencia de materiales para la construcción de las tuberías de interconexión.

1.1.- CÁLCULO DE LA ZAPATA

Lo primero es conocer la naturaleza y resistencia del suelo sobre el que se va a implantar la máquina. La parte de la planta que se va a ocupar es la misma ocupación que tiene el compresor que se va a sustituir, se trata de un sustrato de relleno muy consolidado con una resistencia aceptable según el estudio geotécnico de la zona, para el que se puede considerar una resistencia del terreno de $0,5 \text{ kg/cm}^2$ en el peor de los casos.

Dado que el elemento a cimentar es la bancada de una máquina, con una carga específica baja y que se puede considerar repartida, se elige una cimentación superficial, por lo que no se considera necesario pilotar.

DATOS

- Peso del compresor: $P_c = 18.143 \text{ kg}$
- Peso del motor: $P_m = 7157 \text{ kg}$
- Coeficiente de mayoración: $c = 1,25$
- Largo de la zapata: $l_x = 467 \text{ cm}$
- Ancho de la zapata: $l_y = 370 \text{ cm}$
- Alto de la zapata: $l_z = 32 \text{ cm}$
- Densidad del hormigón: $\rho = 0,0025 \text{ kg/cm}^3$

CÁLCULOS

Carga total sobre el terreno:

$$P = [P_c + P_m + (l_x \cdot l_y \cdot l_z) \cdot \rho] \cdot c = 48.904 \text{ kg}$$

Tensión resultante:

$$\sigma = \frac{P}{l_x \cdot l_y} = 0,283 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \sigma < \sigma_{adm}$$

La zapata es estable estáticamente



En lo que respecta a la estabilidad dinámica, al tratarse de un compresor alternativo, genera un nivel de vibración elevado, por lo que además de contar con un margen más que importante en lo que respecta a la resistencia del terreno en dirección Z, se embeberá toda la cimentación en una extensa losa de hormigón armado para dar rigidez y resistencia en los ejes X e Y.

1.2.- MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS.

De acuerdo con la Directiva Europea 97/23/CE (Anexo I, punto 2.2.2) el diseño del equipo se basará en un método de cálculo (Anexo I, punto 2.2.3), sin que sea preciso completarlo por un método experimental.

Se utilizará para el cálculo un código de diseño de aparatos a presión de reconocido prestigio proporcionando márgenes adecuados de seguridad. Se elige el código:

ASME VIII Div.1. Edd. 15.

1.3.- TENSIONES ADMISIBLES.

Las tensiones admisibles consideradas son las requeridas en el código de diseño.

1.4.- COEFICIENTE DE UNIONES SOLDADAS.

La Directiva establece los siguientes coeficientes según los controles que se realicen sobre ellas:

- Controles sobre todas las juntas que garanticen que no hay deficiencias significativas: 1.
- Controles aleatorios no destructivos: 0,85.
- Si no se realizan controles no destructivos distintos de inspección: 0,7.

Este criterio coincide con el indicado en el código de diseño utilizado. Por lo tanto, de acuerdo con el control no destructivo de soldaduras que se va a llevar a cabo (ver apdo. 11), y teniendo en cuenta tanto las indicaciones de la Directiva como las del código constructivo, se toma:

- Coeficiente de uniones soldadas **0,7**.



1.5.- COEFICIENTE DE PÉRDIDAS DE CARGA

Para el cálculo de las pérdidas de carga que tienen tanto el actual como el segundo nitroducto que se quiere realizar, se usará un coeficiente de pérdidas de carga K necesario según la fórmula de pérdidas de carga localizadas para cada singularidad que presente un accesorio o válvula en dichos nitroductos:

Coeficiente de Codo de 90° de radio largo: **0,22**

Coeficiente de Te: **0,89**

Coeficiente de válvula de mariposa: **1,1**

1.6.- PRESIÓN DE PRUEBA HIDROSTÁTICA.

Para este equipo se hará una prueba de presión hidrostática, de acuerdo con apartado 7.4 del Anexo I de la Directiva, que como mínimo será el que resulte mayor de las siguientes:

- Presión máxima de diseño multiplicada por el coeficiente 1,43.
- Presión a la carga máxima que pueda soportar el equipo en funcionamiento, habida cuenta de su presión máxima admisible y de su temperatura máxima admisible, multiplicada por el coeficiente 1,25.
- Se toma como coeficiente de prueba 1,5.



2.- CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA

En este apartado se visualizarán las pérdidas de carga producidas en los tramos lineales, así como en los elementos singulares de cada nitroducto, el actual y el futuro que se instalará.

El cálculo de las pérdidas lineales se realiza tal y como se explica en los apartados 5.1.1 y 5.3.1 del documento “Memoria” y para el cálculo de las pérdidas singulares en los apartados 5.1.2 y 5.3.1 también del documento “Memoria”.

2.1.- PÉRDIDAS NITRODUCTO ACTUAL

2.1.1.- Primer escenario

El primer escenario se trata para cuando el caudal a transportar sea únicamente el procedente del BLNC#1 según indica el diseño realizado.

El caudal sería:

$$Q_v = 11.216,16247 \frac{Nm^3}{h}$$

Primero han de calcularse los datos previos que son la densidad, el caudal volumétrico y la velocidad para cada presión de descarga y temperatura de descarga.

Datos previos calculados:

Pinicial (barg)	T (°C)	Densidad(kg/m ³)	Q f(P;T) (m ³ /s)	v (m/s)
16	30	17,79	0,2189	6,7817
16,1	30	17,90	0,2175	6,7396
16,2	30	18,02	0,2162	6,6980
16,3	30	18,13	0,2149	6,6569
16,4	30	18,24	0,2135	6,6163
16,5	30	18,35	0,2122	6,5762
16,6	30	18,46	0,2110	6,5366
16,7	30	18,57	0,2097	6,4974
16,8	30	18,68	0,2085	6,4588
17	30	18,91	0,2060	6,3828

Tabla 2.1.-Datos previos primer escenario

Posteriormente a los datos previos se calculan las pérdidas lineales, que para ello se calcula el número de Reynolds, el tipo de flujo (laminar o turbulento) para posteriormente obtener el coeficiente de fricción, y por último las pérdidas.



Pérdidas lineales:

Pinicial (barg)	Re		f	hf (m)	Δp (barg)
16	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	75,86	0,1324
16,1	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	74,92	0,1316
16,2	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	73,99	0,1308
16,3	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	73,09	0,1300
16,4	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	72,20	0,1292
16,5	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	71,33	0,1284
16,6	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	70,47	0,1276
16,7	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	69,63	0,1269
16,8	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	68,80	0,1261
17	1439516,661	Régimen turbulento	0,0561	67,19	0,1246

Tabla 2.2.-Pérdidas lineales primer escenario

El siguiente paso es el cálculo de las pérdidas singulares, que una vez que se sabe el coeficiente de pérdidas (K) que le corresponde a cada elemento singular, en función del número de elementos iguales que existan, se calculan las pérdidas. Dentro de los elementos singulares, tenemos: codos de radio largo de 90°, T's y válvulas de mariposa.

Pérdidas singulares:

➤ Codos

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	8	0,22	4,12	0,0072
16,1	8	0,22	4,07	0,0071
16,2	8	0,22	4,02	0,0071
16,3	8	0,22	3,97	0,0070
16,4	8	0,22	3,92	0,0070
16,5	8	0,22	3,87	0,0069
16,6	8	0,22	3,83	0,0069
16,7	8	0,22	3,78	0,0069
16,8	8	0,22	3,74	0,0068
17	8	0,22	3,65	0,0067

Tabla 2.3.-Pérdidas singulares de codos primer escenario

➤ T's

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	2	0,89	4,17	0,0072
16,1	2	0,89	4,12	0,0072
16,2	2	0,89	4,07	0,0071
16,3	2	0,89	4,02	0,0071
16,4	2	0,89	3,97	0,0071
16,5	2	0,89	3,92	0,0070
16,6	2	0,89	3,87	0,0070



16,7	2	0,89	3,83	0,0069
16,8	2	0,89	3,78	0,0069
17	2	0,89	3,69	0,0068

Tabla 2.4.- Pérdidas singulares de T's primer escenario

➤ Válvulas

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	1	1,1	2,57	0,0045
16,1	1	1,1	2,54	0,0044
16,2	1	1,1	2,51	0,0044
16,3	1	1,1	2,48	0,0044
16,4	1	1,1	2,45	0,0043
16,5	1	1,1	2,42	0,0043
16,6	1	1,1	2,39	0,0043
16,7	1	1,1	2,36	0,0043
16,8	1	1,1	2,33	0,0042
17	1	1,1	2,28	0,0042

Tabla 2.5.- Pérdidas singulares de válvulas primer escenario

El último paso es la suma de las pérdidas lineales y todas las singulares para obtener las pérdidas totales que se producirían durante el recorrido para cada presión de descarga.

Pérdidas totales:

Pinicial (barg)	Δp total (barg)
16	0,1514
16,1	0,1505
16,2	0,1495
16,3	0,1486
16,4	0,1477
16,5	0,1468
16,6	0,1459
16,7	0,1451
16,8	0,1442
17	0,1425

Tabla 2.6.-Pérdidas totales primer escenario.

2.1.2.- Segundo escenario

El segundo escenario se trata para cuando el caudal a transportar sea el procedente del BLNC#1 y el nuevo BLNC#2. Para dicho escenario el caudal impulsado por el BLNC#1 es el mismo que en el primer escenario y el del BLNC#2 de 11.000 Nm³/h.

El caudal sería:



$$Q_V = 22.216,16247 \frac{Nm^3}{h}$$

Al igual que en el primer escenario (2.1.1.-) las pérdidas lineales, las singulares de cada elemento y las totales se calculan de la misma forma.

Datos previos calculados:

Pinicial (bar)	T (°C)	Densidad (kg/m ³)	Q f(P;T) (m ³ /s)	v (m/s)
16	30	17,80	0,4336	13,4328
16,1	30	17,91	0,4310	13,3494
16,2	30	18,02	0,4283	13,2670
16,3	30	18,13	0,4257	13,1856
16,4	30	18,24	0,4231	13,1052
16,5	30	18,35	0,4205	13,0258
16,6	30	18,47	0,4180	12,9473
16,7	30	18,58	0,4155	12,8698
16,8	30	18,69	0,4130	12,7932
17	30	18,91	0,4081	12,6427

Tabla 2.7.- Datos previos segundo escenario

Pérdidas lineales:

Pinicial (barg)	Re		f	hf (m)	Δp (barg)
16	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	297,57	0,5196
16,1	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	293,88	0,5163
16,2	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	290,27	0,5131
16,3	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	286,72	0,5100
16,4	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	283,23	0,5069
16,5	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	279,81	0,5038
16,6	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	276,45	0,5008
16,7	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	273,15	0,4978
16,8	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	269,90	0,4948
17	2851290,368	Régimen turbulento	0,0561	263,59	0,4890

Tabla 2.8.-Pérdidas lineales segundo escenario

Pérdidas singulares:

➤ Codos

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	8	0,22	16,19	0,0283
16,1	8	0,22	15,99	0,0281
16,2	8	0,22	15,79	0,0279
16,3	8	0,22	15,60	0,0277
16,4	8	0,22	15,41	0,0276
16,5	8	0,22	15,22	0,0274



16,6	8	0,22	15,04	0,0272
16,7	8	0,22	14,86	0,0271
16,8	8	0,22	14,68	0,0269
17	8	0,22	14,34	0,0266

Tabla 2.9.-Pérdidas singulares de codos segundo escenario

➤ T's

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	2	0,89	16,37	0,0286
16,1	2	0,89	16,17	0,0284
16,2	2	0,89	15,97	0,0282
16,3	2	0,89	15,77	0,0281
16,4	2	0,89	15,58	0,0279
16,5	2	0,89	15,39	0,0277
16,6	2	0,89	15,21	0,0275
16,7	2	0,89	15,03	0,0274
16,8	2	0,89	14,85	0,0272
17	2	0,89	14,50	0,0269

Tabla 2.10.-Pérdidas singulares de T's segundo escenario

➤ Válvulas

	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	1	1,1	10,12	0,0177
16,1	1	1,1	9,99	0,0176
16,2	1	1,1	9,87	0,0174
16,3	1	1,1	9,75	0,0173
16,4	1	1,1	9,63	0,0172
16,5	1	1,1	9,51	0,0171
16,6	1	1,1	9,40	0,0170
16,7	1	1,1	9,29	0,0169
16,8	1	1,1	9,18	0,0168
17	1	1,1	8,96	0,0166

Tabla 2.11.-Pérdidas singulares de válvulas segundo escenario

Pérdidas totales:

Pinicial (barg)	Ap total (barg)
16	0,5941
16,1	0,5904
16,2	0,5867
16,3	0,5831
16,4	0,5796
16,5	0,5761
16,6	0,5726



16,7	0,5692
16,8	0,5658
17	0,5591

Tabla 2.12.-Pérdidas totales segundo escenario

2.1.3.- Tercer escenario

El segundo escenario se trata para cuando el caudal a transportar sea el procedente del BLNC#1 y el nuevo BLNC#2. Para dicho escenario el caudal impulsado por el BLNC#1 es el mismo que en el primer escenario y el del BLNC#2 de 12.000 Nm³/h.

El caudal sería:

$$Q_V = 23.216,16247 \frac{Nm^3}{h}$$

Al igual que en el primer escenario (2.1.1.-) las pérdidas lineales, las singulares de cada elemento y las totales se calculan de la misma forma.

Datos previos calculados:

Pinicial (barg)	T (°C)	Densidad(kg/m3)	Q f(P;T) (m ³ /s)	v (m/s)
16	30	17,80	0,4532	14,0375
16,1	30	17,91	0,4504	13,9503
16,2	30	18,02	0,4476	13,8642
16,3	30	18,13	0,4448	13,7791
16,4	30	18,24	0,4421	13,6951
16,5	30	18,35	0,4394	13,6121
16,6	30	18,47	0,4368	13,5301
16,7	30	18,58	0,4342	13,4491
16,8	30	18,69	0,4316	13,3690
17	30	18,91	0,4265	13,2117

Tabla 2.13.-Datos previos tercer escenario

Pérdidas lineales:

Pinicial (barg)	Re		f	hf (m)	Δp (barg)
16	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	324,96	0,5674
16,1	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	320,94	0,5639
16,2	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	316,99	0,5604
16,3	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	313,11	0,5569
16,4	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	309,30	0,5536
16,5	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	305,56	0,5502
16,6	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	301,89	0,5469
16,7	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	298,29	0,5436
16,8	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	294,75	0,5404
17	2851253,798	Régimen turbulento	0,0561	287,85	0,5340



Tabla 2.14.-Pérdidas lineales tercer escenario

Pérdidas singulares:

➤ Codos

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	8	0,22	17,68	0,0309
16,1	8	0,22	17,46	0,0307
16,2	8	0,22	17,24	0,0305
16,3	8	0,22	17,03	0,0303
16,4	8	0,22	16,82	0,0301
16,5	8	0,22	16,62	0,0299
16,6	8	0,22	16,42	0,0297
16,7	8	0,22	16,23	0,0296
16,8	8	0,22	16,03	0,0294
17	8	0,22	15,66	0,0290

Tabla 2.15.-Pérdidas singulares de codos tercer escenario

➤ T's

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	2	0,89	17,88	0,0312
16,1	2	0,89	17,66	0,0310
16,2	2	0,89	17,44	0,0308
16,3	2	0,89	17,23	0,0306
16,4	2	0,89	17,02	0,0305
16,5	2	0,89	16,81	0,0303
16,6	2	0,89	16,61	0,0301
16,7	2	0,89	16,41	0,0299
16,8	2	0,89	16,22	0,0297
17	2	0,89	15,84	0,0294

Tabla 2.16.- Pérdidas singulares de T's tercer escenario

➤ Válvulas

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	1	1,1	11,05	0,0193
16,1	1	1,1	10,91	0,0192
16,2	1	1,1	10,78	0,0191
16,3	1	1,1	10,64	0,0189
16,4	1	1,1	10,52	0,0188
16,5	1	1,1	10,39	0,0187
16,6	1	1,1	10,26	0,0186
16,7	1	1,1	10,14	0,0185
16,8	1	1,1	10,02	0,0184
17	1	1,1	9,79	0,0182



Tabla 2.17.- Pérdidas singulares de válvulas tercer escenario

Pérdidas totales:

Pinicial (barg)	Δp total (barg)
16	0,6488
16,1	0,6447
16,2	0,6407
16,3	0,6368
16,4	0,6329
16,5	0,6291
16,6	0,6253
16,7	0,6216
16,8	0,6179
17	0,6106

Tabla 2.18.- Pérdidas totales tercer escenario

2.2.- PÉRDIDAS NITRODUCTO NUEVO

2.2.1.- Cuarto escenario

El cuarto escenario se trata para cuando el caudal a transportar sea únicamente el procedente del BLNC#2, según indica el diseño realizado. Para dicho escenario el caudal impulsado por el BLNC#1 es el mismo que en el primer escenario del nitroducto actual. Este escenario se corresponde con el primer y segundo escenario del nitroducto actual, según indica el diseño realizado.

El caudal sería:

$$Q_v = 11.000 \frac{Nm^3}{h}$$

Al igual que en el primer escenario (2.1.1.-) las pérdidas lineales, las singulares de cada elemento y las totales se calculan de la misma forma.

Datos previos calculados:

Pinicial (barg)	T (°C)	Densidad(kg/m3)	Q f(P;T) (m ³ /s)	v (m/s)
16	30	17,80	0,2147	6,6511
16,1	30	17,91	0,2134	6,6097
16,2	30	18,02	0,2121	6,5689
16,3	30	18,13	0,2108	6,5286
16,4	30	18,24	0,2095	6,4888
16,5	30	18,35	0,2082	6,4495
16,6	30	18,47	0,2070	6,4107
16,7	30	18,58	0,2057	6,3723
16,8	30	18,69	0,2045	6,3343



17	30	18,91	0,2021	6,2598
----	----	-------	--------	--------

Tabla 2.19.- Datos previos cuarto escenario

Pérdidas lineales:

Pinicial (barg)	Re		f	hf (m)	Δp (barg)
16	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	73,59	0,1285
16,1	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	72,68	0,1277
16,2	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	71,78	0,1269
16,3	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	70,91	0,1261
16,4	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	70,04	0,1254
16,5	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	69,20	0,1246
16,6	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	68,37	0,1238
16,7	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	67,55	0,1231
16,8	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	66,75	0,1224
17	1411773,707	Régimen turbulento	0,0561	65,19	0,1209

Tabla 2.20.-Pérdidas lineales cuarto escenario

Pérdidas singulares:

➤ Codos

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	9	0,22	4,46	0,0078
16,1	9	0,22	4,41	0,0077
16,2	9	0,22	4,35	0,0077
16,3	9	0,22	4,30	0,0077
16,4	9	0,22	4,25	0,0076
16,5	9	0,22	4,20	0,0076
16,6	9	0,22	4,15	0,0075
16,7	9	0,22	4,10	0,0075
16,8	9	0,22	4,05	0,0074
17	9	0,22	3,95	0,0073

Tabla 2.21.-Pérdidas singulares de codos cuarto escenario

➤ T's

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	4	0,89	8,03	0,0140
16,1	4	0,89	7,93	0,0139
16,2	4	0,89	7,83	0,0138
16,3	4	0,89	7,73	0,0138
16,4	4	0,89	7,64	0,0137
16,5	4	0,89	7,55	0,0136
16,6	4	0,89	7,46	0,0135
16,7	4	0,89	7,37	0,0134
16,8	4	0,89	7,28	0,0133



17	4	0,89	7,11	0,0132
----	---	------	------	--------

Tabla 2.22.-Pérdidas singulares de T's cuarto escenario

➤ Válvulas

Pinicial (barg)	Cantidad	K	h _v (m)	Δp (barg)
16	1	1,1	2,48	0,0043
16,1	1	1,1	2,45	0,0043
16,2	1	1,1	2,42	0,0043
16,3	1	1,1	2,39	0,0043
16,4	1	1,1	2,36	0,0042
16,5	1	1,1	2,33	0,0042
16,6	1	1,1	2,30	0,0042
16,7	1	1,1	2,28	0,0041
16,8	1	1,1	2,25	0,0041
17	1	1,1	2,20	0,0041

Tabla 2.23.-Pérdidas singulares de válvulas cuarto escenario

Pérdidas totales:

Pinicial (barg)	Δp total (barg)
16	0,1546
16,1	0,1537
16,2	0,1527
16,3	0,1518
16,4	0,1509
16,5	0,1499
16,6	0,1490
16,7	0,1481
16,8	0,1473
17	0,1455

Tabla 2.24.-Pérdidas totales cuarto escenario

2.2.2.- Quinto escenario

El quinto escenario se trata para cuando el caudal a transportar sea únicamente el procedente del BLNC#2, según indica el diseño realizado. Para dicho escenario el caudal impulsado por el BLNC#1 es el mismo que en el primer escenario del nitroducto actual. Este escenario se corresponde con el primer y tercer escenario del nitroducto actual, según indica el diseño realizado.

El caudal sería:

$$Q_v = 12.000 \frac{Nm^3}{h}$$



Al igual que en el primer escenario (2.1.1.-) las pérdidas lineales, las singulares de cada elemento y las totales se calculan de la misma forma.

Datos previos calculados:

Pinicial (barg)	T (°C)	Densidad(kg/m ³)	Q f(P;T) (m ³ /s)	v (m/s)
16	30	17,80	0,2342	7,2557
16,1	30	17,91	0,2328	7,2106
16,2	30	18,02	0,2313	7,1661
16,3	30	18,13	0,2299	7,1222
16,4	30	18,24	0,2285	7,0787
16,5	30	18,35	0,2271	7,0358
16,6	30	18,47	0,2258	6,9934
16,7	30	18,58	0,2244	6,9516
16,8	30	18,69	0,2231	6,9102
17	30	18,91	0,2205	6,8289

Tabla 2.25.-Datos previos quinto escenario

Pérdidas lineales:

Pinicial (barg)	Re		f	hf (m)	Δp (barg)
16	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	87,58	0,1529
16,1	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	86,49	0,1520
16,2	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	85,43	0,1510
16,3	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	84,38	0,1501
16,4	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	83,36	0,1492
16,5	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	82,35	0,1483
16,6	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	81,36	0,1474
16,7	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	80,39	0,1465
16,8	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	79,43	0,1456
17	1540116,771	Régimen turbulento	0,0561	77,58	0,1439

Tabla 2.26.-Pérdidas lineales quinto escenario

Pérdidas singulares:

➤ Codos

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	9	0,22	5,31	0,0093
16,1	9	0,22	5,25	0,0092
16,2	9	0,22	5,18	0,0092
16,3	9	0,22	5,12	0,0091
16,4	9	0,22	5,06	0,0091
16,5	9	0,22	5,00	0,0090
16,6	9	0,22	4,94	0,0089
16,7	9	0,22	4,88	0,0089
16,8	9	0,22	4,82	0,0088



17	9	0,22	4,71	0,0087
-----------	---	------	------	--------

Tabla 2.27.-Pérdidas singulares de codos quinto escenario

➤ T's

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	4	0,89	9,55	0,0167
16,1	4	0,89	9,43	0,0166
16,2	4	0,89	9,32	0,0165
16,3	4	0,89	9,20	0,0164
16,4	4	0,89	9,09	0,0163
16,5	4	0,89	8,98	0,0162
16,6	4	0,89	8,87	0,0161
16,7	4	0,89	8,77	0,0160
16,8	4	0,89	8,66	0,0159
17	4	0,89	8,46	0,0157

Tabla 2.28.-Pérdidas singulares de T's quinto escenario

➤ Válvulas

Pinicial (barg)	Cantidad	K	hv (m)	Δp (barg)
16	1	1,1	2,95	0,0052
16,1	1	1,1	2,92	0,0051
16,2	1	1,1	2,88	0,0051
16,3	1	1,1	2,84	0,0051
16,4	1	1,1	2,81	0,0050
16,5	1	1,1	2,78	0,0050
16,6	1	1,1	2,74	0,0050
16,7	1	1,1	2,71	0,0049
16,8	1	1,1	2,68	0,0049
17	1	1,1	2,61	0,0049

Tabla 2.29.-Pérdidas singulares de válvulas quinto escenario

Pérdidas totales:



Pinicial (barg)	Δp total (barg)
16	0,1840
16,1	0,1829
16,2	0,1817
16,3	0,1806
16,4	0,1795
16,5	0,1784
16,6	0,1774
16,7	0,1763
16,8	0,1753
17	0,1732

Tabla 2.30.-Pérdidas totales quinto escenario



3.- SEGURIDAD

3.1.- IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS.

Son cuatro los riesgos que se contemplan:

- Rotura mecánica.
- Salida del producto conducido.
- Incendio en las instalaciones.
- Descarga eléctrica.
- Atrapamiento con partes móviles o rotativas.

3.2.- REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS.

De acuerdo con el capítulo 1 del anexo I de la directiva, los equipos se diseñan, fabrican y controlan de manera que se garantiza su seguridad en condiciones razonablemente previsibles y en conformidad con las instrucciones del fabricante.

Con el fin de reducir los riesgos derivados de los casos indicados, se ha diseñado la tubería atendiendo a los siguientes conceptos:

3.2.1.- Riesgo por rotura mecánica:

- Elección apropiada de materiales, específicos para aparatos a presión (ver apartado materiales).
- Realización de cálculos según código de diseño de utilización habitual para aparatos a presión, con clasificación del aparato en atención a los riesgos existentes. (Ver apartado de diseño).
- Elección de un sistema de inspección adecuado, conforme a los puntos anteriores (de acuerdo con la Directiva, lo que establece el Reglamento de Equipos a Presión y el código de diseño). Ver apartado de pruebas e inspecciones.
- Las líneas dispondrán de puntos para su presurización, despresurización y regeneración. Siempre que la construcción lo permita, se unirán a los equipos y entre sí de forma desmontable, mediante bridas o roscas compatibles y con elementos de junta estancos, todo ello adecuado al fluido, diámetro y presión.
- Existencia de una válvula de seguridad capaz de aliviar el circuito de una posible sobrepresión en cada tramo que lo requiera y dimensionada de manera que pueda dar salida al caudal máximo de diseño de cada parte. En los planos se pueden ver las válvulas de seguridad, representadas con el siguiente símbolo: Válvula de

seguridad PSV .



- Elección de un sistema de protección adecuado que impide la disminución de espesores debido a procesos de corrosión. (Ver apartado de procesos de fabricación).
- Instalación en el inicio de la canalización de una válvula automática de corte de flujo en caso de producirse una rotura de la tubería. Mediante un sistema neumático, se cerraría la válvula en caso de detectar un descenso anormal en la presión.

3.2.2.- Riesgo por salida de producto conducido.

- Estanqueidad en las conexiones de todos los elementos desmontables de la tubería, que incluyen medidores, válvulas, salidas de muestras y tapones.
- Válvula automática de corte, que minimiza los riesgos derivados de una fuga por rotura.
- Las descargas de las válvulas de seguridad se harán de forma que la salida de escape sea vertical descendente y a unos 200 mm del suelo ó vertical ascendente a una altura superior a 3 m del suelo y vaya a zonas suficientemente ventiladas, siempre asegurando que la actuación del dispositivo de seguridad no pueda proyectar ninguna sustancia sobre personal próximo y garantizando la idoneidad de la atmósfera para la respiración, evitando una concentración deficiente en oxígeno.

3.2.3.- Riesgos en caso de incendio.

- Los riesgos que se derivan de la declaración de un incendio en las cercanías del equipo se palian principalmente a través de una instalación apropiada con sistemas adecuados contra incendios, establecimientos de distancias de seguridad, etc. En todo caso se respetará siempre lo indicado en el plan de emergencia.

3.2.4.- Descarga eléctrica.

- Instalación diseñada y construida bajo cumplimiento estricto de los reglamentos electrotécnicos vigentes y normas aplicables.
- Todos los equipos eléctricos estarán homologados y dispondrán del marcado CE correspondiente.
- Señalización de las zonas de peligro con carteles y pictogramas que indiquen los riesgos y el valor del voltaje existente.
- Sistemas de protección eléctrica, las operaciones de montaje y mantenimiento las realizará personal cualificado y autorizado según la reglamentación vigente en España y acorde a las exigencias internas de Praxair. Se prestará una especial atención a la colocación de diferenciales, tomas de tierra y dispositivos de paro de emergencia.



3.2.5.- Atrapamiento con partes móviles o rotativas.

- Todas las máquinas estarán homologadas y dispondrán del marcado CE correspondiente. Prestando especial atención al cumplimiento de la legislación aplicable en materia de seguridad y garantizando la máxima protección para evitar el acceso a las partes móviles.
- Colocación de protecciones o guardas en las zonas de posible acceso y señalización visible de los riesgos existentes.
- Las operaciones de montaje y mantenimiento las realizará personal cualificado y autorizado según la reglamentación vigente en España y acorde a las exigencias internas de Praxair. Se prestará una especial atención a la colocación de bloqueos en los motores o cualquier otro posible dispositivo de accionamiento, de manera que imposibilite un funcionamiento inesperado.

El personal involucrado en trabajos dentro de estas instalaciones deberá haber sido formado e informado de los riesgos existentes y las medidas preventivas a adoptar en cada caso. Siempre se deberá trabajar bajo autorización expresa del responsable de Praxair en la planta y exclusivamente en las condiciones que se permitan, cualquier otra actividad requerirá de aprobación específica.

3.3.- RIESGOS RESIDUALES.

No se considera la existencia de riesgos residuales, ya que las personas que van a manejar estos equipos están cualificadas para realizar dichos trabajos.

3.4.- RIESGOS DEL MONTAJE.

Los riesgos derivados de los trabajos de ejecución del mismo merecen una consideración especial y por ello se desarrollan aparte, ver el Estudio Básico de Seguridad y Salud incluido en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** del presente documento.



4.- INSTRUCCIONES EN CASO DE EMERGENCIA

En el caso de producirse un fallo inesperado de cualquier parte de la instalación que pueda afectar al personal de la zona, de las proximidades o al medio ambiente, se activará el **PLAN DE EMERGENCIA** establecido en la planta, derivándose las actuaciones oportunas en cada caso. Todo el personal de Praxair o contratistas de éste está formado e informado para saber actuar en caso de emergencia.



En Oviedo, a 05 de julio de 2018

Una firma manuscrita en tinta negra, que parece ser la de Pablo Gómez Escalante, con un estilo cursivo y algunas letras grandes y estilizadas.

Fdo.: Pablo Gómez Escalante