

FORMACIÓN E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

Memoria de cálculo - pads de refuerzo según ASME B31.3

Calculation memory – reinforcement pads
according to ASME B31.3

Víctor Emanuel De Luca | Universidad Tecnológica Nacional Regional Buenos Aires.

vdeluca@frba.utn.edu.ar

 <https://orcid.org/0009-0001-1210-4793>

RESUMEN

Se analiza la necesidad de inclusión de pads de refuerzo en las uniones soldadas de caño sobre caño durante el diseño de piping de una planta de procesamiento de gas crudo. Se utiliza como referencia el código ASME B31.3 con el fin de identificar las uniones que requieran un refuerzo externo, de forma de mejorar el tendido de las cañerías y evaluar distancias mínimas entre derivaciones

ABSTRACT

We analyze the need for the inclusion of reinforcement pads on stub-in connections during the piping design of a raw gas processing plant. As reference, the ASME code B31.3 of process piping is used, primarily to identify the connections that require this external reinforcement, aiding in a better layout of the piping and assessing minimal distances between derivations.

Palabras clave: Diseño de piping, Pads de refuerzo, Conexión Caño a Caño

Keywords: Piping design, Reinforcement pad, Stub-in connection

Recibido: 18/03/2025 | Aceptado: 24/04/2025 | Publicado: 06/06/2025

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



INTRODUCCIÓN

Existen diversos accesorios que pueden resolver la forma de realizar una derivación en cañerías como pueden ser Latrolets o los accesorios T de derivación. El problema se resuelve mediante la soldadura de ambas cañerías a un elemento comercial que cumple la función de garantizar la unión y fijar el ángulo de salida. Sin embargo, esto no siempre resulta la mejor opción. Cuestiones como la disponibilidad comercial de estos accesorios, particularidades del proceso o de los fluidos pueden requerir optar por la derivación caño a caño.

Este método de unión consiste en un corte y soldadura de la derivación por sobre la línea principal. Dicho corte trae consigo una reducción de la sección resistente en la cañería principal por lo que puede hacer falta un elemento de refuerzo externo, llamado pad de refuerzo y coloquialmente conocido como "poncho".

En la Figura 1 se puede observar el pad de refuerzo montado y soldado sobre una derivación, el cual permite reforzar y compensar el área resistente removida para hacer la unión. Su necesidad se debe estudiar en cada derivación.



Figura 1: Pad de refuerzo en derivación caño a caño

Para dicha verificación se tomará como referencia el Código de la American Society of Mechanical Engineers (ASME) B31.3, para cañerías de proceso. Este es un manual de carácter empírico, es decir que muchos de sus elementos están basados en la experiencia acumulada a través de los años, por lo cual no sustituye los criterios de ingeniería utilizados para el diseño, sino que los complementa, apuntando a la verificación y observándose el problema desde la óptica de la seguridad.

Es importante aclarar que las cañerías existentes en plantas y las pertenecientes a equipos, recipientes y también de los llamados "Skids" (diseños modulares con cañerías, conexiones o instrumentos propios) están fuera del alcance de este código y tienen sus manuales y criterios de diseño propios.

La colocación de pads de refuerzo requiere una distancia mínima entre derivaciones que hay que considerar, de forma que no se solapen entre si dichos refuerzos. Mientras que en los casos donde no es requerido, pueden acercarse entre si lo que se necesite.

En este artículo se realiza esta verificación al diseño de cañerías de una futura planta de refinamiento de gas crudo en la zona de Tratayén, Provincia de Neuquén, con el fin último de mejorar el diseño propuesto.

DESARROLLO

Introducción a los documentos de piping

El diseño eficiente y funcional de las cañerías es lo que en ingeniería se conoce como "Piping". Para el mismo se define y trabaja con diversos documentos que se enumeran a continuación. Para el presente estudio serán de interés solo los detallados en esta sección.

El primero de los documentos es el "Piping & Instrumentation Diagram" (P&ID), en el mismo se vuelca de manera esquemática los distintos equipos, instrumentos, válvulas de la instalación, las cañerías que los unen y el sentido de flujo.

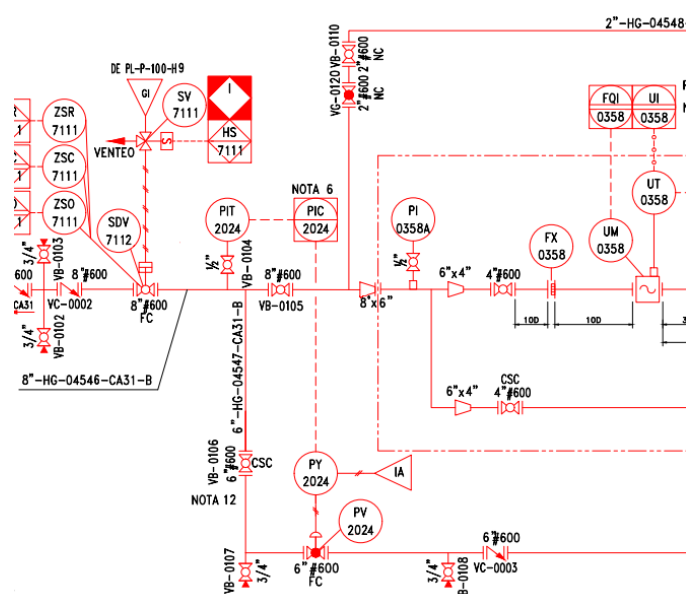


Figura 2: Esquema típico de PID.

Como se muestra en la figura 2, este diagrama presenta toda la información necesaria para realizar el tendido de las cañerías, ya que proporciona información de los diámetros a utilizar, las distintas uniones o derivaciones y las válvulas e instrumentos de medición que debe contener el tramo de cañería.

Este documento es elaborado por ingenieros de procesos y es de carácter esquemático, no tiene en cuenta distancias, ubicaciones, alturas, etc. Una parte del trabajo en

pipng es llevar estos diagramas a sistemas que luego puedan ser construidos y emplazados en la realidad.

Un segundo documento de gran importancia para esta tarea es la "Piping Class" (PC), el cual es elaborado por ingenieros de piping, y consta de tres partes de interés. La primera parte de este documento engloba los distintos fluidos a transportar, sus presiones y temperaturas y los divide en distintas "clases" fácilmente identificables mediante códigos (por ejemplo, CA11, SA10, PN10) definiéndose para cada uno de estos códigos:

- El material de la cañería.
- El espesor comercial o "Schedule" (SCH).
- Fluidos que transporta.
- Rango de presiones y temperaturas admisibles
- Las bridas, juntas, válvulas (Accesorios) y el rango de diámetros en el que se usa cada uno.

Esto permite limitar el diseño a elementos fácilmente identificables y disponibles comercialmente. Al mismo tiempo permite, si se respeta sus indicaciones, no tener que verificar mediante cálculos espesores para cada una de las cañerías individualmente.

Una segunda parte, define como debe realizarse cada derivación entre cañerías de igual y distintos diámetros de acuerdo con cada una de las clases definidas anteriormente. Se pueden clasificar según la figura 3 en:

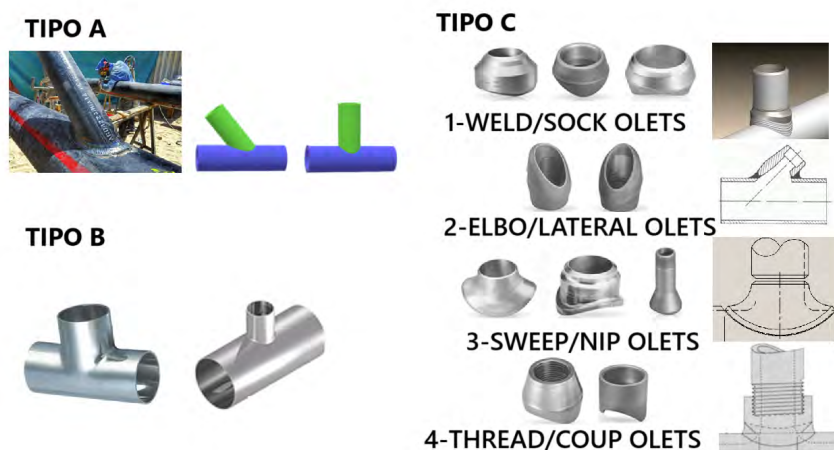


Figura 3: Distintos accesorios de derivación.

- Tipo A: Soldadura caño a caño o "boca de pez". La unión es sin accesorios adicionales y se unen ambas cañerías directamente.
- Tipo B: Uniones comerciales tipo T, y T de reducción. Un tramo del colector principal es reemplazado por un accesorio comercial al que se une la derivación, el accesorio debe ser del mismo SCH que las cañerías que busca unir.
- Tipo C: Demás accesorios comerciales que se montan sobre las cañerías principales que a su vez pueden subdividirse en:

1. Weldolets y Sockolets. Para uniones soldadas a 90°.
2. Latrolet y Elbolet. Para uniones soldadas o roscadas a 45°, o sobre Codos.
3. Sweepolet y Nipolets. Para uniones donde se busque transmitir la menor turbulencia posible al fluido, el Sweepolet es de unión soldada, mientras que los nipolets pueden ser también roscados.
4. Thredolet y Coupolet. Para uniones roscadas a 90°.

La última parte de la PC reúne los distintos cálculos que verifican y justifican las definiciones del documento.

El siguiente de los documentos a utilizar es el “Listado de Líneas” (LL), el cual resume y agrupa la información de los dos documentos anteriores, define a cada tramo de cañería con un “número de línea” (NL) que permite a simple vista obtener la información más relevante de la misma. Un ejemplo del utilizado en el proyecto:

12"-FG-05715-CD11-B

1. La primera cifra (12") define el diámetro de la cañería principal, sin embargo, el mismo puede contener reducciones que no necesariamente se traduzcan en un nuevo NL si el nuevo tramo es tan corto que no lo justifica.
2. La sigla a continuación (FG) define el servicio, por ejemplo, en este caso identifica al Fuel Gas, IA aire de instrumentos, etc.
3. El número que sigue (05715) identifica la línea, ya que puede haber diversos tramos de cañerías del mismo diámetro y servicio. A cada una se le asigna una numeración única que hará referencia a la misma.
4. El termino posterior (CD11) refiere a la clase de la línea, indica el material, accesorios y tipo de unión que le corresponden.
5. El último elemento (B) indica el tipo de aislación. Es la sigla con la que se va a definir la necesidad o no de aislación, el material y espesores.
6. Adicionalmente el LL contiene las presiones y temperaturas de trabajo, de diseño y de prueba hidráulica de cada una de las líneas.

El último de los documentos es la Maqueta General del proyecto (MG). Al ser un proyecto de grandes dimensiones se subdividen los distintos sectores de la planta en Áreas, agrupando los equipos, cañerías y estructuras de acuerdo a ubicación y funcionalidad. Cada una de estas Áreas tendrá un diseño digital en 3D, ubicada en coordenadas que contiene la información de cada uno de los elementos que la componen. Desde el tamaño, ubicación y nombre (TAG) de un equipo, hasta el tipo y espesor de soldadura que une dos tramos de cañerías.

De todos estos documentos, el PID, el LL y la MG son documentos dinámicos a los que se le agregan, quitan o modifican elementos de forma constante. Este diseño se va ajustando hasta que ya no se requieren modificaciones y el diseño es el definitivo. Por esta misma razón es que para esta verificación no sería conveniente realizarlo mediante un cálculo tradicional, ya que en caso de modificarse alguna de las variables que intervienen, habría que recalcular en cada caso.

Primera aproximación al trabajo a realizar.

Por lo mencionado con anterioridad se optará por la creación de una hoja de cálculo automática, en la cual se puedan colocar y actualizar las distintas variables y que arroje como resultado si se requiere o no el refuerzo.

Para ello, lo primero es identificar cada una de estas conexiones, listarlas y verificar que estén de acuerdo con la PC.

En esta primera aproximación hay un servicio identificado con las siglas FL, que se corresponde con las cañerías que van hacia el Flare ó Antorcha, que requieren que la conexión sea caño a caño y a 45° por una cuestión del proceso, sin importar lo que indique la PC.

Este servicio de cañerías generalmente se encuentra a la salida de cuadros de válvulas de alivio de presión ó pressure safety valves, (PSV). Deben instalarse con una pendiente en sentido descendente hacia el recipiente que reúne estos residuos gaseosos del proceso de destilación. El mismo recibe el nombre de Knock Out Drum (KOD) y tiene la función de separar la parte líquida y enviar la parte gaseosa no aprovechable a la antorcha para que se combustione de la forma más eficiente y completa posible.

Por lo tanto, el fluido en estas cañerías es de carácter intermitente, de alta velocidad y con contenido de líquido, lo cual explica el requerimiento de la pendiente descendente y el ingreso a 45° de la cañería, por lo que es el único caso a contemplar que puede contraindicar la PC utilizando derivaciones caño a caño.

Asimismo, cabe aclarar que, según la norma, los accesorios de derivación comerciales no requieren verificación, ya que están fabricados de acuerdo a ASME B16.9, por lo que quedan excluidos de este análisis.

Un primer estudio arroja como resultado un total de 98 conexiones caño a caño y se identifican como caso particular 2 conexiones que no están respetando la PC o el requerimiento de las líneas de FL. Esto provoca la alerta, para realizar cambios o correcciones a nivel de la MG.

CÁLCULO

Para soportar la presión interna una cañería requiere un espesor mínimo que se obtiene por cálculo, el cuál es menor al espesor comercial que luego se selecciona. Al realizar una conexión caño a caño, se recorta una sección del caño principal o colector, para que ingrese el caño secundario o derivación de modo que ambos puedan ser unidos mediante soldadura.

La verificación tiene por objeto establecer si una vez removida la sección del colector necesaria para la unión de la derivación, las secciones debidas al espesor excedente serán suficientes para resistir la presión interna del caño.

La norma define en principio 4 áreas según la figura 4.

A1: Área requerida de refuerzo (ARR). Es la necesaria para resistir la presión interna y es equivalente al área total eliminada para realizar la derivación.

A2: Área de exceso de espesor en la cañería principal (AEECP). Se corresponde con la sección aportada por la diferencia entre el espesor mínimo de cálculo y el espesor comercial seleccionado en la cañería de la cual se hace la derivación.

A3: Área de exceso de espesor en la cañería de derivación (AEECD). Corresponde a un análisis similar que A2, pero esta vez con el caño de la derivación.

A4: Área de refuerzos adicionales y soldaduras, (ARAS) Si bien la unión se realiza mediante soldadura y la misma aporta material resistente, adoptando la condición más desfavorable, no se tendrá en cuenta la resistencia del material de aporte.

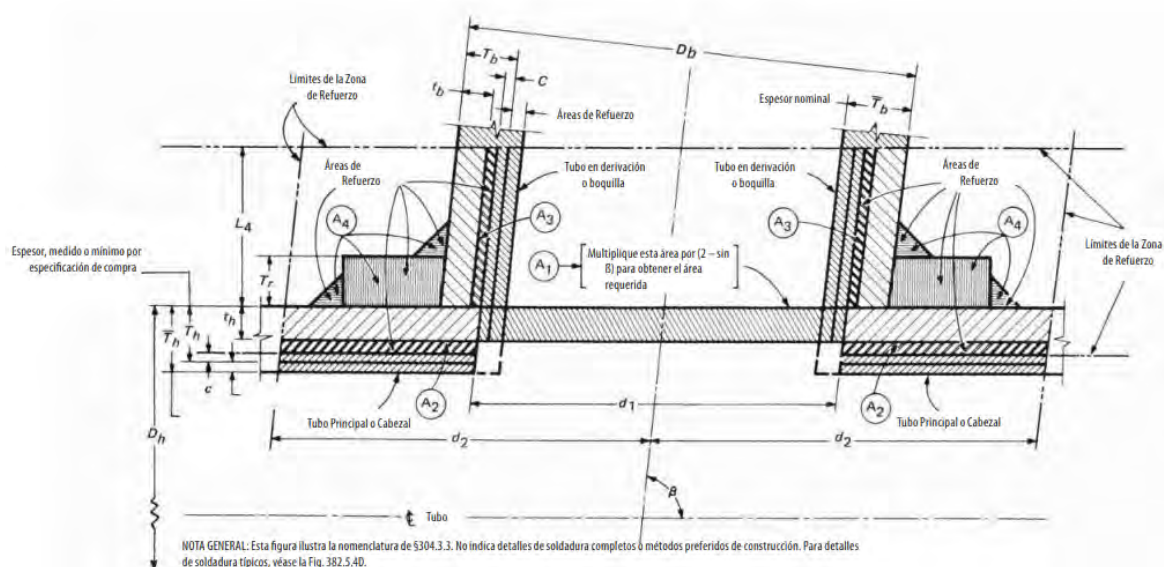


Figura 4: Distintas áreas definidas en ASME B31.3 [1].

Adicionalmente se pueden agrupar las áreas que aportan material resistente como "Área disponible de refuerzo" (ADR), siendo $ADR = A_2 + A_3 + A_4$.

Finalmente, el ADR debe ser mayor o igual que el ARR, y en caso de que no se cumpla se debe diseñar y soldar a la derivación un pad de refuerzo (PR) externo, el cuál incrementará el valor de A4 de forma que se cumpla lo previamente establecido.

$$A_2 + A_3 + A_4 \geq A_1$$

Estudio de las distintas áreas

A1: ARR

$$A_1 = t_h \cdot d_1 (2 - \sin \beta) \quad (1)$$

Tabla 1: Elementos intervinientes en cálculo de ARR.

Elemento	Definición	Valor
t_h	Espesor mínimo resistente del colector	Puede calcularse con la fórmula: $t_h = \frac{P_h \cdot D_h}{2(S \cdot E \cdot W + P_h \cdot Y)}$
d_1	Longitud efectiva eliminada en la derivación	Puede calcularse con la fórmula: $d_1 = \frac{[D_b - 2(T_b - c)]}{\text{sen } \beta}$
β	Ángulo definido entre Centerlines de colector y derivación	En este caso varían entre 45° y 90°, se analiza cada caso según lo modelado en MG.

ARR: Área requerida de refuerzo, MG: Maqueta General

Los valores indicados para t_h y d_1 son solo de aplicación al caso de estudio, ya que las cañerías no se encuentran sometidas a una presión externa. En caso de cañerías sumergidas o sometidas a presiones externas, el valor de dichos elementos se calcula de una forma distinta que escapa el alcance de este estudio.

El cálculo de t_h y d_1 amerita algunas definiciones adicionales según la tabla 2. Cabe aclarar que muchas de estas definiciones se volverán a utilizar más adelante en el resto de las áreas, El subíndice h hace referencia a un parámetro del colector (Header), mientras que el subíndice b hará referencia a un parámetro de la derivación (Branch).

Tabla 2: Definiciones adicionales.

Elemento	Definición	Valor
P_h	Presión interna Manométrica de colector.	Se obtiene del LL
D_h	Diámetro real externo del colector.	Se encuentra definido por las normas ASME B31.10 para aceros al carbono (ACC) y ASME B31.19 para aceros inoxidables (AI).
S	Tensión admisible a la temperatura de diseño de la cañería.	Se encuentra definido la tabla A-1 del código ASME B31.3, a mayor temperatura menor será la tensión admisible del material.
S	Factor de calidad de la junta longitudinal soldada.	Se encuentra definido en la tabla 302.3.4 del código ASME B31.3. Aplica solo a caños con costura, por lo que en este caso vale siempre uno.
S	Factor de reducción de resistencia por soldadura.	Se encuentra definido en la tabla 302.3.4 del código ASME B31.3. Aplica solo a caños con costura, por lo que en este caso vale siempre uno.
S	Factor de corrección por temperatura.	Se encuentra definido en la tabla 304.1.1 del código ASME B31.3. En este caso valdrá siempre 0,4
D_b	Diámetro real externo de la derivación	Se encuentra definido por las normas ASME B31.10 para ACC y ASME B31.19 para AI.
T_h	Espesor mínimo de tolerancia de la cañería de derivación	Los espesores poseen tolerancias de fabricación. Se debe diseñar a la condición más desfavorable afectando el espesor nominal por 0,875
c	Espesor adicional adoptado por corrosión	Depende de la clase de cañería, se puede obtener de la PC.

LL: Listado de Lineas, PC: Piping Class

En este caso cabe aclarar que el diámetro real de una cañería difiere del nominal hasta las 12" inclusive, siendo mayores los reales. Los valores reales junto con las dimensiones de espesores para cada SCH que los fabricantes adoptan se encuentran en las normas B31.10 y B31.19.

Los espesores para un determinado diámetro y SCH también diferirán entre las cañerías de AC y AI. Además, los SCH correspondientes a cañerías de AI están seguidos de la letra S, ej: SCH 10s

A2: AEECP

$$A_2 = (2 \cdot d_2 - d_1) \cdot (T_h - t_h - c) \quad (2)$$

Tabla 3: Elementos intervinientes en cálculo de AEECP.

Elemento	Definición	Valor
D_2	"mitad del ancho" de la zona de refuerzo.	Puede valer: $\frac{(T_h - c) + (T_h - c) + d_1}{2}$ O también puede valer d_1 . Se deben calcular ambos y adoptar el mayor. Tampoco puede superar el valor de D_h . En dicho caso se adoptará D_h
T_h	Espesor mínimo de tolerancia de la cañería principal.	Se debe afectar el espesor nominal según norma por 0,875

AEECP: Área de exceso de espesor en la cañería principal

A3: AEECD

$$A_3 = \frac{2 \cdot L_d \cdot (T_b - t_b - c)}{\sin \beta} \quad (3)$$

Tabla 4: Elementos intervinientes en cálculo de AEECD

Elemento	Definición	Valor
L_d	Altura de la zona de refuerzo externa del caño principal	Puede valer: $2,5 \cdot (T_h - c) + T_r$ o también puede valer $2,5 \cdot (T_h - c)$. Se deben calcular ambos y adoptar el menor.
T_r	Espesor mínimo de tolerancia de la cañería de refuerzo	En el caso de que posea un PR este adicionará área resistente por lo que se debe considerar también. En el primer cálculo valdrá cero.

AEECD: Área de exceso de espesor en la cañería de derivación, PR: Pad de refuerzo

En este último apartado hay una consideración adicional que tener en cuenta y depende del método de fabricación del PR. El mismo puede realizarse recortando un trozo de cañería de iguales características que el colector o mediante placas. En caso de que se

opte por la primera opción el espesor T_r , debería afectarse por el coeficiente 0,875 por las mismas razones detalladas en la determinación de T_h y T_h .

Asimismo, una vez conocidos los casos donde se requiera la colocación de refuerzo está área deberá recalcularse debido a que T_h deja de valer cero, aunque al seleccionar el menor de dos opciones en d_2 existe la posibilidad de que no se vea afectada.

A4: ARAS

En el primer cálculo este valor será cero por despreciarse el área adicional de soldaduras, pero una vez conocidos los casos donde se requiera la colocación del PR, esta es el área que deberá compensar el faltante.

Primeros resultados

Para cada una de las 98 derivaciones se establecen los parámetros indicados, dando como primer resultado la necesidad de colocar PR en un total de 13 de las 98 derivaciones analizadas.

Tabla 5: Listado de derivaciones a reforzar

Der.	Diametro Colector/Derivación	Área faltante de refuerzo (AFR) en pulgadas cuadradas
1	24" SCH 80 /12" SCH 80	6,79155473
2	24" SCH 80 /12" SCH 80	6,79155473
21	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,374279707
22	20" SCH 10 /20" SCH 10	0,975077484
90	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
91	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
92	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
93	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
94	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
95	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
96	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
97	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434
98	16" SCH 60 /8" SCH 60	3,413092434

Se aprecia que las primeras dos derivaciones tienen los mismos valores de cálculo, lo que significa que poseen la misma AFR. Esto mismo ocurre con las derivaciones desde la 90 a la 98. En estos casos idénticos entre sí, la verificación de uno será suficiente y aplicable a los demás. Por lo que, los 13 casos de análisis pueden reducirse a 4.

A la hora de dimensionar los refuerzos se cuenta con varias opciones, desde el corte de un tramo de caño de iguales características que el colector hasta la adquisición de pads comerciales sobredimensionados para adaptarse a las distintas condiciones a las que puedan estar sometidos.

Para una estandarización, que brinde una seguridad extra y ahorro en costos, se opta por la fabricación de estos. Sus dimensiones se obtienen por comparación con las detalladas en un documento típico con medidas similares a las que ofrecen los pads comerciales, tal como se aprecia en la figura 5.

El documento hace una diferenciación de las derivaciones a 45° y 90° y define las dimensiones principales del pad con excepción del espesor. Aun así, se verificará de acuerdo con la norma, que el refuerzo seleccionado adicione el AFR.

COLECTOR	2	C 1 105																	
		C 2 155																	
	3	C 1 76 150																	
		C 2 126 221																	
	4	C 1 74 112 190																	
		C 2 124 183 286																	
	6	C 1 72 104 136					274												
		C 2 122 175 232 426																	
	8	C 1 71 102 130 202 354																	
		C 2 121 173 226 354 555																	
10	C 1 71 101 128 191 264 439																		
	C 2 121 172 224 343 465 696																		
12	C 1 71 100 127 187 251 335 519																		
	C 2 121 171 223 339 452 592 825																		
14	C 1 71 100 126 185 246 321 417 569																		
	C 2 121 171 222 337 447 578 723 913																		
16	C 1 71 100 126 184 241 309 385 443 648																		
	C 2 121 171 222 336 442 566 691 787 1042																		
18	C 1 70 99 126 182 238 303 370 417 511 728																		
	C 2 120 170 222 334 439 560 676 761 905 1171																		
20	C 1 70 99 125 182 237 298 361 404 481 579 808																		
	C 2 120 170 221 334 438 555 667 748 875 1022 1300																		
22	C 1 70 99 125 181 235 295 355 395 465 545 648 888																		
	C 2 120 170 221 333 436 552 661 739 859 988 1140 1429																		
24	C 1 70 99 125 181 234 293 351 390 455 527 611 717 968																		
	C 2 120 170 221 333 435 550 657 734 849 970 1103 1258 1558																		
DERIVACION		2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24					
L 1		70	99	124	178	229	283	334	366	416	467	518	569	620					
L 2		120	170	220	330	430	540	640	710	810	910	1010	1110	1210					
W		25	35	5	6	100	5	128	5	153	172	197	221	5	246	270	5	298	

Figura 5: Ej. típico dimensional PR.

DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIÓN

Una vez analizados los casos se procede a la verificación de los refuerzos según las dimensiones de la figura 6.

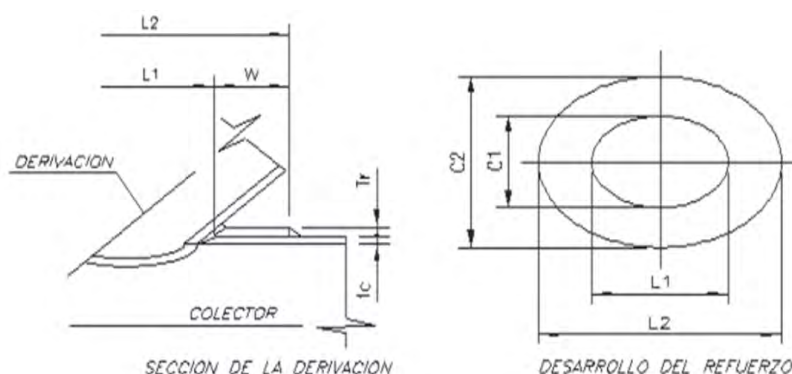


Figura 6: Dimensiones PR.

Según lo detallado con anterioridad se deben modificar las áreas 3 y 4. En área 4 se adicionará una sección que según la figura 6 es: $2 \cdot W \cdot T_r$, el valor de T_r será igual a T_h y W se obtiene de la tabla de la figura 5, dicho valor tendrá que compensar el AFR.

Sin embargo, al existir la posibilidad de modificarse el área 3, esto modificaría el AFR, por lo que resulta aquello que se debe calcular primero.

Tabla 6: AFR recalculadas

Der.	AFR inicial en pulgadas cuadradas	AFR final en pulgadas cuadradas
1 y 2	6,79155473	6,554660861
21	3,374279707	3,331098945
22	0,975077484	0,975077484
90 a 98	3,413092434	3,371268266

Se observa una disminución en las AFR de todas las derivaciones a excepción de la derivación 22, con los valores obtenidos se procede a la verificación.

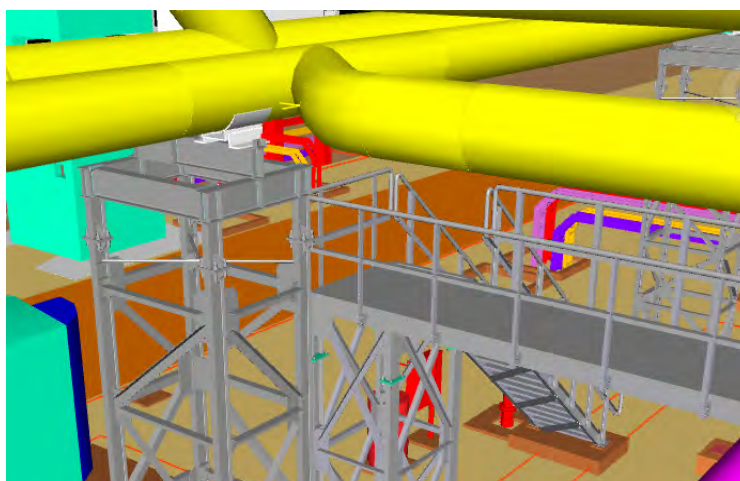


Figura 7: Interferencia soporte y derivación

Tabla 7: Listado de derivaciones a reforzar

Der.	Área adicionada con refuerzo típico	Diferencia
1 y 2	12,8498917	-6,29523087
21	4,54228346	-1,21118452
22	6,04576772	-5,07069023
90 a 98	4,54228346	-1,1710152

Una diferencia negativa indica que el ARR es menor que el ADR por lo que verifica.

Inconvenientes de implantación

A la hora de modelar los refuerzos para su inclusión en la MG, de forma que sirvan también de indicación adicional para obra, surge un inconveniente adicional que podría

haber pasado desapercibido de no trabajar con un modelo 3D a escala de la implantación.

En caso de colocar el pad en la derivación 22 el mismo tendría una interferencia con un soporte estructural cercano a la misma. Puede apreciarse en la figura 7 que dicho soporte (elemento modelado en color blanco) tiene una placa de desgaste soldada a la cual se sueldan los perfiles que garantizan el apoyo en la estructura. Dicha placa interferiría con el pad una vez colocado.

Las opciones para solucionar esto son varias, pero en este caso el nivel de avance de obra elimina la posibilidad de desplazar la estructura y soporte que están generando el problema.

Otra solución puede ser desplazar la derivación alejando el codo a 45° que se ve en la figura 7 de la cañería a la que se va a realizar la conexión. De esta forma se acorta el tramo previo al codo, y se alarga el tramo que va a conectar con el colector, alejando al mismo tiempo el apoyo de dicha conexión. Sin embargo, esta opción también termina siendo descartada porque modificaría un estudio conocido como Stress Analysis de línea que con la configuración existente verifica.

Una última opción requiere modificar las dimensiones del PR alejándolo de las dimensiones típicas. Si bien la idea es estandarizar las soluciones, en este caso la única opción es hacer una excepción.

Aun disminuyendo la dimensión W del pad hasta un valor que no genere interferencia, podría ocurrir que luego no verifique por no adicionar suficiente sección resistiva. En dicho caso, se podría también solucionar mediante el incremento del espesor del pad. Se reduce entonces la dimensión W del pad de 351 mm a 100,5 mm, que es el máximo espacio disponible, considerando una distancia mínima entre soldadura del pad y de la placa del soporte de 50 mm para evitar el fenómeno de debilitamiento. conocido como zona afectada por el calor.

El área que adiciona este pad es de $1,731 \text{ in}^2$ (1116.772 mm^2) por lo que aun con una disminución drástica de sus dimensiones, el pad a colocar verifica.-

Sin embargo, este análisis no es el único que puede significar la necesidad de un refuerzo, ya que es un estudio completamente estático. En la realidad estas cañerías van a estar sometidas a diversas tensiones producto de la temperatura, caudal, etc. Por lo que este análisis debe complementarse con uno más complejo y computarizado denominado Stress Analysis.

STRESS ANALYSIS

Definición

El estudio de stress análisis es complejo y evalúa los sistemas en diversos estados de trabajo. En el mismo intervienen:

- Dilataciones por temperatura de cañerías.
- Tensiones originadas en cañerías por imposibilidad de dilatación.
- Tensiones por peso de la cañería y por carga.
- Distancia ente apoyos de la cañería.

- Vibraciones.
- Cargas ocasionales como viento o sismo.

En caso de no verificar este estudio, la instalación puede requerir un total rediseño, ya que todo elemento de cañería que trabaje a temperatura es propenso a dilatar y todo aquello que lo impida generará tensiones adicionales a las ocasionadas por presión interna.

Una vez soldadas las cañerías actuarán como un conjunto, por lo que se debe estudiar donde se colocarán los frenos y guías de forma que en ningún punto del sistema se superen las tensiones o deformaciones máximas permitidas.

Estudio de stress analysis

Es un estudio que permite, mediante una simulación por computadora y un modelo de nodos al que se le cargan las distintas restricciones y cargas, obtener como resultado los desplazamientos en los 3 ejes de todos los nodos, y las cargas a las que está sometido.

Las conexiones caño a caño implican una reducción de la sección resistente en esos nodos, son secciones que estáticamente pueden verificar, pero que luego sometidas a cargas dinámicas u otras tensiones, pueden requerir la adición de un refuerzo.

Este estudio adiciona un total de 20 refuerzos a los 13 que se calcularon previamente.

Se podría pensar que al ser un análisis más completo puede sustituir al detallado anteriormente por la norma, pero es incorrecto.

Al ser un estudio complejo, este solo se realiza a las denominadas líneas críticas, es decir la zona 3 del gráfico que se muestra en la figura 8.

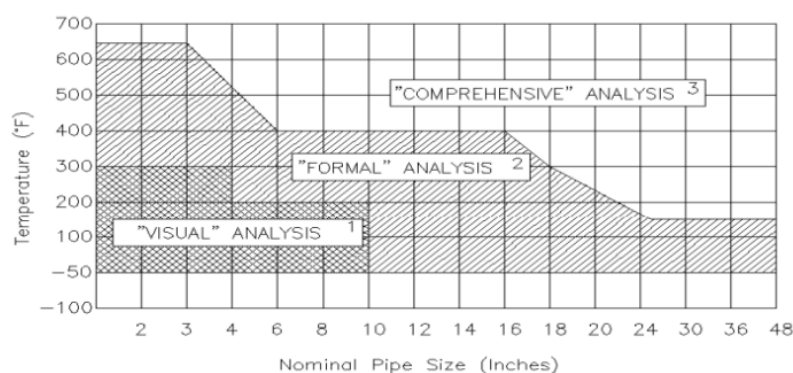


Figura 8: Rangos de análisis de flexibilidad definidos en PIP PNC00004 [3].

Este gráfico establece 3 zonas de estudio:

1. Análisis Visual para diámetros y temperaturas bajas. Aquellos comprendidos en esta zona no requiere estudio formal. Es suficiente con un diseño que siga las reglas del buen arte.
2. Análisis formal para diámetros grandes a baja temperatura o bien diámetros chicos a altas temperaturas. Estos casos son listados y analizados mediante el uso de tablas que establecen distancias entre apoyos y guías.

3. Análisis computarizado para los casos comprendidos en la última zona. Adicionalmente se suelen estudiar mediante modelos computarizados, aunque no estén incluidos en la zona indicada, sistemas asociados a equipos críticos como pueden ser aero enfriadores, intercambiadores o bombas alternativas, cañerías con fluidos bifásicos, cañerías de alivio (como las asociadas a PSVs) y cañerías montadas o fijadas a equipos propensos a dilatar como torres separadoras.

Puede ocurrir que alguna derivación quede fuera de dicho rango. Por ejemplo, el refuerzo necesario en la derivación 22 que se calculó en el estudio anterior o también el sistema que comprendía las derivaciones desde la 90 a 98, no eran sistemas que requiriesen un estudio formal de stress, por lo que de no haber hecho este estudio no hubieran sido colocados y se estaría incumpliendo la norma.

Por esto, se concluye que ambos estudios son complementarios.

PROCEDIMIENTOS FINALES

Por último, se emite una memoria de cálculo indicando los refuerzos que se requieren por norma B31.3, los requeridos por Stress analysis, sus ubicaciones y dimensiones.

Además, se modelan y colocan en MG con un color llamativo para recordar la necesidad de su colocación en obra.

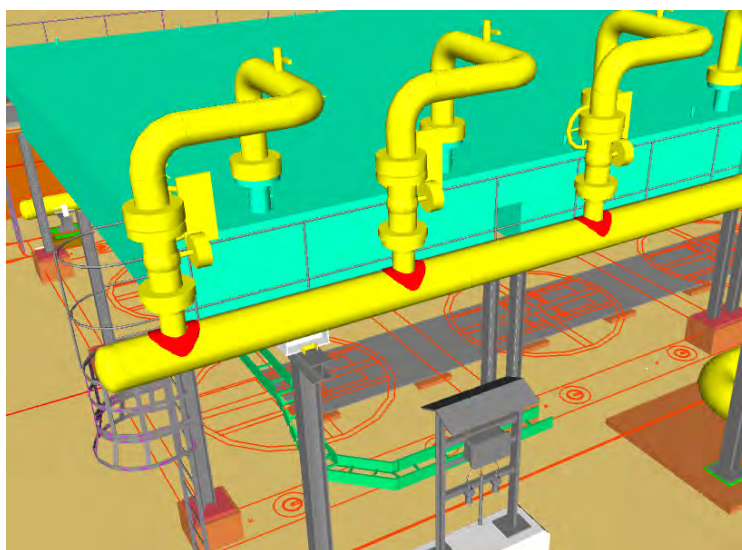


Figura 9: Pads incorporados en MG.

El uso de una tabla dinámica para el cálculo de éstas permitió además su uso en dos proyectos de ampliación posteriores de la misma planta.

En la primera ampliación redujo considerablemente los tiempos de cálculo y emisión respecto a la primera, mientras que, en la segunda ampliación, que sucedía en paralelo, permitió aproximarse al estudio y reducir los tiempos de cálculo.-

CONCLUSIONES

La necesidad de la inclusión de pads de refuerzo no necesariamente está limitada al cálculo según la norma. Es conveniente complementarlo con un estudio adicional de stress análisis.

La automatización del primer estudio reduce ampliamente el tiempo requerido para realizar el mismo y a su vez permite su uso en proyectos futuros.

Un estudio temprano permite, a su vez, en caso de identificar problemas constructivos, corregir o alterar el ruteo previo al estudio de stress o al avance de la obra civil. Permite una solución más segura que la colocación de un pad de dimensiones menores a las típicas.

La identificación ya sea en un modelo 3D o mediante documentos adicionales es de gran ayuda a la hora de evitar que sea omitida o pasada por alto su colocación en la construcción o fabricación de estas cañerías.

AGRADECIMIENTOS

Al equipo de Piping y al equipo Civil, y especialmente a los lideres dentro de la disciplina, los ingenieros Andrés Galarza, Osmell Paredes y David Regner.

REFERENCIAS

ASME (2022). *ASME B31.3 Process Piping*. The American Society of Mechanical Engineers, 23-26 pp.

ASME (2022). *ASME B36.10 Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*. The American Society of Mechanical Engineers.

PIP (2012). *PIP PNC00004 Piping Stress Analysis Criteria for ASME B31.3 Metallic Piping*. Process industry Practices Piping. 8pp.