


DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 1 de 17

Historial de Modificaciones y Revisiones

Fecha mm/dd/aa	Descripción de la Modificación	Elaboró/ Modificó	Revisó	Aprobó
05/20/2018	Emitido para Comentarios del Cliente	LC (Prodysis)	HG (Prodysis)	
05/21/2018	Emitido para Diseño	LC (Prodysis)	HG (Prodysis)	
05/28/2018	Emitido para Diseño, incluye actualización de datos de proceso y cambios de geometría requeridos en la descarga	LC (Prodysis)	HG (Prodysis)	

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 2 de 17

TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVO.....	3
2	ALCANCE.....	3
3	PREMISAS	3
4	CÓDIGOS DE DISEÑO APLICABLES.....	4
5	DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	4
6	DESARROLLO	5
6.1	Análisis de la información de entrada.....	6
6.2	Procesamiento de la información de entrada.....	11
6.3	Análisis de resultados de los sistemas modelados.....	11
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	15

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 3 de 17

1 OBJETIVO

El presente estudio tiene como objetivo realizar el análisis de flexibilidad detallado para las líneas de succión, descarga y recirculación asociadas a la bomba para oleoducto BPC-7480 situada en la planta de rebombeo de Araguaney en Yopal (Casanare), Colombia.


2 ALCANCE

El alcance de este informe comprende el estudio detallado de las tuberías de 16", 10", 8", 6" y 4" de diámetro, que corresponden a tuberías aéreas que conectan la nueva bomba BPC-7480 con el sistema de rebombeo de la estación ARAGUANEY, con el objetivo de implementar controles y/o restricciones que permitan la mitigación de sobreesfuerzos y desplazamientos en los sistemas de tuberías; posteriormente se informarán las cargas en los puntos de apoyo de las tuberías para el diseño de los soportes por parte de la disciplina Civil. El estudio incluye el Modelamiento de las boquillas de la bomba de acuerdo con el API 610 y los sistemas de tuberías asociados a ellas, con el objetivo de analizar los desplazamientos ocasionados por la expansión térmica de todo el sistema y los valores de cargas medidos en unidades de fuerza que dichos desplazamientos generan. El estudio de flexibilidad para las líneas de succión, descarga y recirculación de la bomba BPC-7480, se compone del análisis de la información de entrada (suministrada por OXY), como planos de los trazados de las líneas, maquetas CAD, datos de operación y diseño de la línea, así como sugerencias y demás recomendaciones técnicas recolectadas en las reuniones de trabajo llevadas a cabo en las instalaciones de OXY, en Bogotá. La información de entrada se procesará y se entregarán los resultados con sus respectivas conclusiones.

3 PREMISAS

El estudio contempla la extracción del modelo a partir de planimetrías e isométricos en CAD entregados por OXY. Las simulaciones serán implantadas en CAESAR II 2016 y sobre la base de los reportes obtenidos de dicha herramienta, se sustentarán las interpretaciones, conclusiones y recomendaciones aquí presentadas.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 4 de 17

El modelo consta de cuatro (4) secciones de tuberías aéreas, El material a emplear para el modelamiento de las tuberías será el API 5L Gr. B para las tuberías de 16", 10", 8", 6" y 4" con aprobación previa por parte de OXY. El análisis de esfuerzos se realizará tomando como parámetros, los recomendados por la norma B31.3 y se realiza por medio de la verificación de esfuerzos en las condiciones de expansión (EXP) y sostenido (SUS), en el presente documento se realiza la verificación y análisis de los esfuerzos para Expansión y Sostenido. Cualquier carga adicional que sea requerida por OXY y no se encuentra enunciada en este informe, se deberá consultar directamente en los archivos de CAESAR II.

4 CÓDIGOS DE DISEÑO APLICABLES


Para el desarrollo de este estudio, el modelo entregado por OXY se analizará bajo el código **ASME B31.3 2014** utilizada por CAESAR II 2016. Para la inclusión de datos de sismo, se aplicará la norma **NSR 10**. Para la verificación de cargas en las boquillas de la bomba se utilizará los valores recomendados por el código **API 610** usando un máximo factor de X2.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los siguientes documentos fueron suministrados por OXY y fueron usados como base para realizar el cargue de información en el programa de cálculo, el análisis de los datos obtenidos del programa y de acuerdo con los parámetros establecidos realizar una comparación de la información para emitir conclusiones y recomendaciones que garanticen la integridad de los sistemas analizados. Sistemas no analizados en este cálculo asociados al sistema de tuberías no están cubiertos y requerirán un análisis adicional.

1. Especificación para análisis de flexibilidad OXY.
2. P&ID Estación Araganey; Unidad de bombeo sobre skid P-7450, P-7460; P-7470 ARY-125-41-1 Rev. 0.
3. P&ID Estación Araganey; Unidad de bombeo sobre skid P-7480 ARY-125-41-2 Rev. 0.
4. Plano de planta de tuberías ARY 400-00-01 Hoja 1 Revisión 2.
5. Plano de planta Localización Soportes para tuberías ARY 400-00-01 Hoja 2 Revisión 3.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 5 de 17


6. Plano de Detalle soportes para tuberías S-1 y S-2 ARY 400-00-01 Hoja 3 Revisión 1.
7. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Succión ARY 400-00-24 Hoja 1 Revisión 2.
8. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Succión ARY 400-00-24 Hoja 2 Revisión 3.
9. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Succión ARY 400-00-24 Hoja 3 Revisión 2.
10. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Succión ARY 400-00-24 Hoja 4 Revisión 2.
11. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Descarga ARY 400-00-25 Hoja 1 Revisión 2.
12. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Descarga ARY 400-00-25 Hoja 2 Revisión 2.
13. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Descarga ARY 400-00-25 Hoja 3 Revisión 2.
14. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Descarga ARY 400-00-25 Hoja 4 Revisión 2.
15. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Descarga ARY 400-00-25 Hoja 5 Revisión 2.
16. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Recirculación ARY 400-00-26 Hoja 1 Revisión 2.
17. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Recirculación ARY 400-00-26 Hoja 2 Revisión 2.
18. Isometría Unidad de bombeo sobre Skid; Recirculación ARY 400-00-26 Hoja 3 Revisión 3.
19. General Arrangement 6X13 DMXD 5 Stages 30813AE0009-12 Rev. A.
20. Sectional Drawing 6X13 DMXD 5 Stages 50013AE0009-12 Rev. 0.
21. Maqueta C2 extraída de maqueta CAD.

6 DESARROLLO

Para el desarrollo de este estudio, se dividirá el trabajo en tres partes:

1. Análisis de la información de entrada (Modelo entregado por OXY).
2. Procesamiento de la información de entrada.
3. Análisis de resultados

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodisys)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 6 de 17

6.1 Análisis de la información de entrada

El análisis de la información de entrada consiste en la recolección de todos los datos suministrados por OXY, verificar las unidades de medida y ajustar la configuración del CAESAR II necesaria para realizar la corrida del modelo.

Los datos de proceso de las líneas son los siguientes:



Línea Succión:

1. Diámetro: 10in, 8in.
2. Schedule: Estándar
3. Material: API 5L Gr. B
4. Presión operación 1: 0 PSI
5. Presión operación 2: 100 PSI
6. Presión de prueba: 285 PSI
7. Temperatura operación 1: 90 F
8. Temperatura operación 2: 180 F
9. Densidad del fluido: 61.15 LB/CU. FT

Línea Descarga:

1. Diámetro: 14in, 12in, 8in, 6in.
2. Schedule: 80
3. Material: API 5L Gr. X42
4. Presión operación 1: 0 PSI
5. Presión operación 2: 1700 PSI
6. Presión de prueba: 2210 PSI
7. Temperatura operación 1: 90 F
8. Temperatura operación 2: 180 F
9. Densidad del fluido: 61.15 LB/CU. FT

Línea Recirculación:

1. Diámetro: 16in, 10in 6in, 4in.
2. Schedule: Estándar
3. Material: API 5L Gr. B
4. Presión operación 1: 0 PSI
5. Presión operación 2: 100 PSI

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES
INFORME DE FLEXIBILIDAD
 Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480



Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 7 de 17
---------	----------------------------------	-----------	----------------

6. Presión de prueba: 285 PSI
7. Temperatura operación 1: 90 F
8. Temperatura operación 2: 180 F
9. Densidad del fluido: 61.15 LB/CU. FT

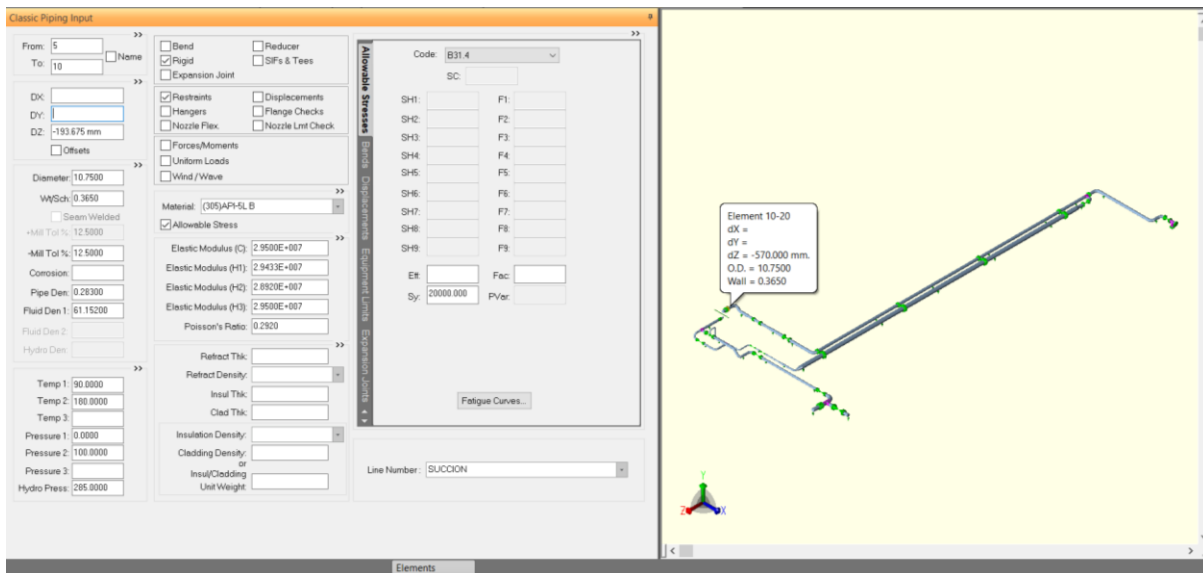


Figura 1. Input del cálculo, datos de operación de la línea de succión.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodytis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

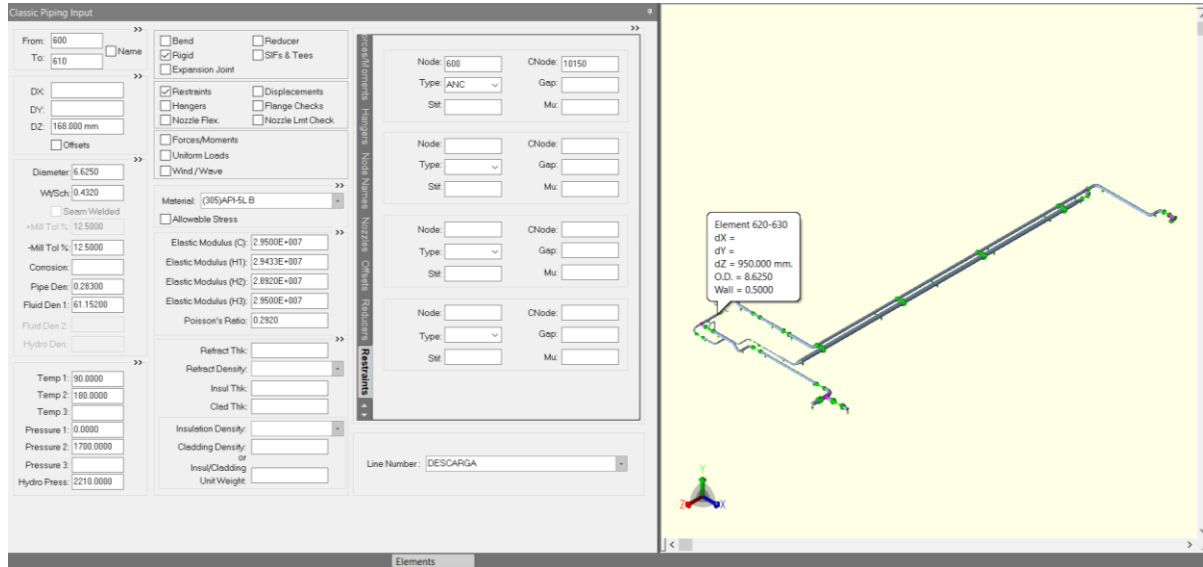


Figura 2. Input del cálculo, datos de operación de la línea de descarga.

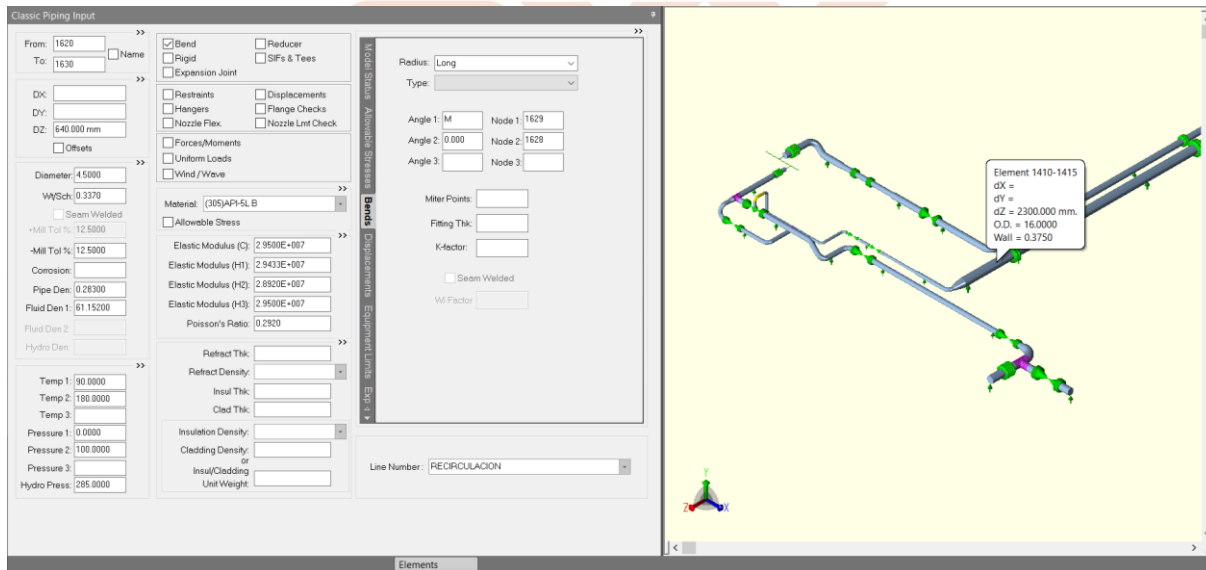


Figura 3. Input del cálculo, datos de operación de la línea de recirculación.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luis Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodisys)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades



Código:

Vigente desde:
 Vigente hasta:

Versión 2

Página 9 de 17

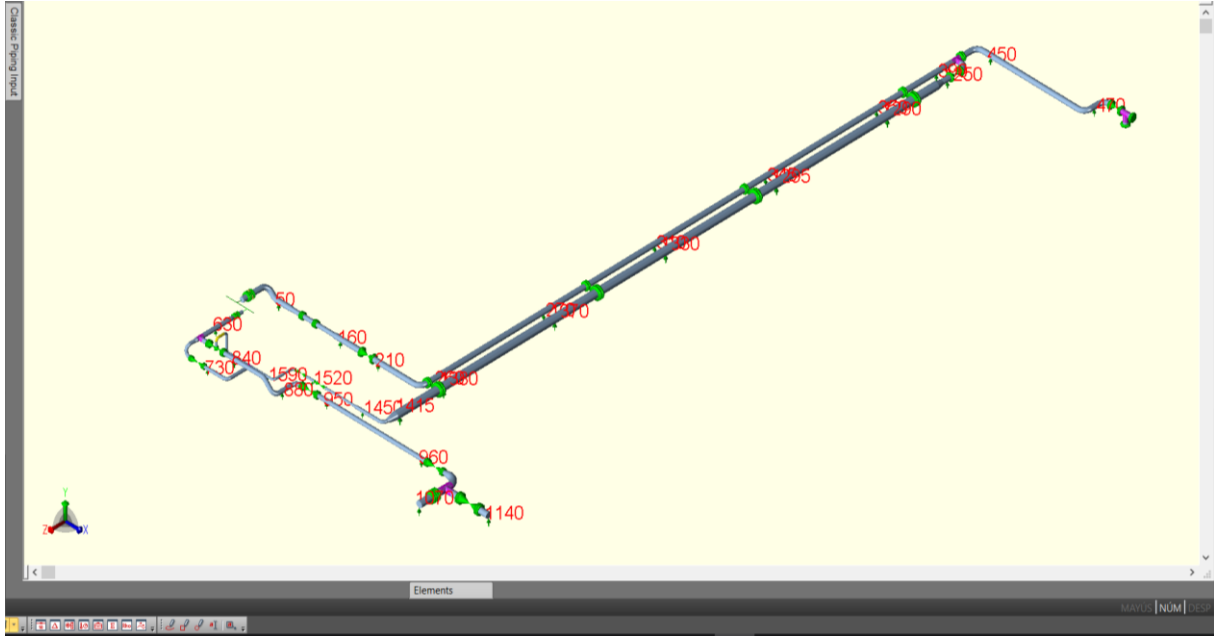
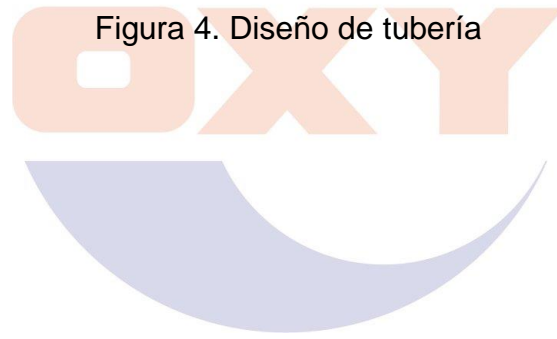


Figura 4. Diseño de tubería



Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

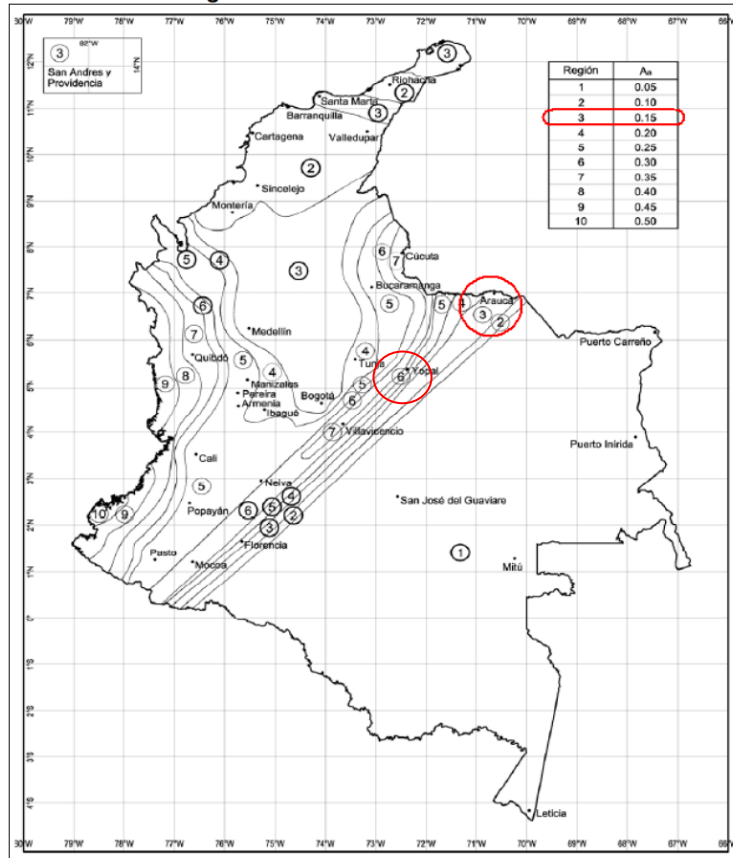


Código:

Vigente desde:
Vigente hasta:

Versión 2

Página 10 de 17




Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.

Figura 5. Mapa de sismología Colombiana.

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, la zona donde serán construidas las líneas asociadas a la bomba BPC-7480, está categorizada en nivel 6, por lo tanto, el factor de aceleración horizontal sísmica es igual a **0.30**. Ver figura 5.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luis Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 11 de 17

6.2 Procesamiento de la información de entrada

Con toda la información de entrada incluida en CAESAR II, el paso siguiente es procesar la información. Este paso consiste en realizar la verificación que las restricciones (+y) estén debidamente colocadas y tengan factor de fricción. Para este análisis se tomará el factor del 30% (0.3) que corresponde a contacto metal – metal.

Se utilizará el módulo de cálculo para API 610 para el análisis de cargas ejercidas sobre las boquillas de la bomba con el sistema en operación 2 por tener mayores valores de presión y temperatura.

Con los procedimientos anteriormente expuestos, el modelo queda listo para realizar la corrida y obtener los datos de salida (Output), los cuales serán analizados para determinar el comportamiento de todo el sistema.

6.3 Análisis de resultados de los sistemas modelados

Una vez realizada la corrida del modelo, el siguiente paso consiste en verificar si todo el conjunto cumple con el código ASME B31.3. A partir de esta verificación, y si el sistema satisface el código, se procede a verificar que todos los puntos de apoyo reciben carga, con el fin de garantizar que el sistema esté soportado correctamente y que no falta/sobra ningún soporte. Realizada la verificación de cargas, se procede a realizar el estudio de desplazamientos de todo el sistema. Los sistemas analizados corresponden a:

6.3.1 Estado general frente al Código ASME B31.3

Los casos de carga evaluados son los siguientes:

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodysis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES
INFORME DE FLEXIBILIDAD
 Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480



Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 12 de 17
---------	----------------------------------	-----------	-----------------

Load Cases | Wind Loads | Wave Loads

Loads Defined in Input

Drag a column header and drop it here to group by that column

Definition	Name	Stress Type	Alternate SUS/OCC	Load Cycles	Output Status
L1	WW+HP	HYD			Keep
L2	W+T1+P1	OPE			Keep
L3	W+T2+P2	OPE			Keep
L4	W+P1	SUS	<input type="checkbox"/>		Keep
L5	W+P2	SUS			Keep
L6	W+P1	SUS			Keep
L7	W+P2	SUS			Keep
L8	L2-L6	EXP			Keep
L9	L3-L7	EXP			Keep

“Operating Case Condition” 1 corresponde a los valores de operación.

Por medio de la configuración de soportes recomendada en los Layout de tuberías, guías y soportes en general se obtuvo un comportamiento de la tubería aceptable dentro de los valores admisibles del código ASME B31.3, En el nodo 1000 correspondiente a la reducción de 14” a 8” los porcentajes máximos de esfuerzos fueron superados en el caso de SUSTENTACION (ver numeral 7 recomendaciones):

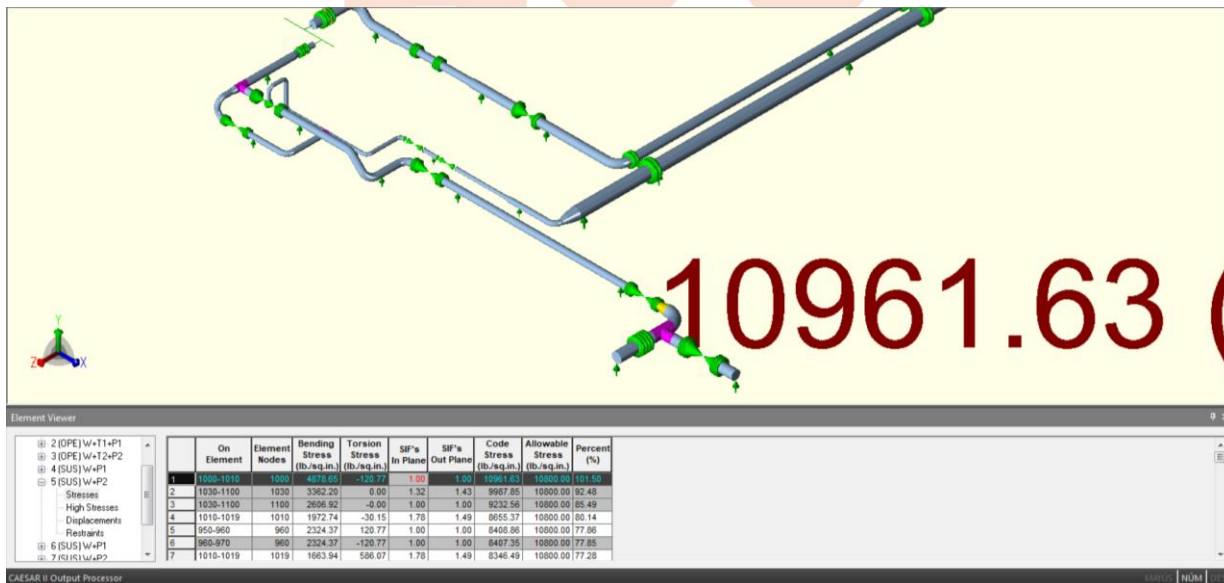


Figura 6. Esfuerzos máximos caso L5 Sustentación.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luis Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodyis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

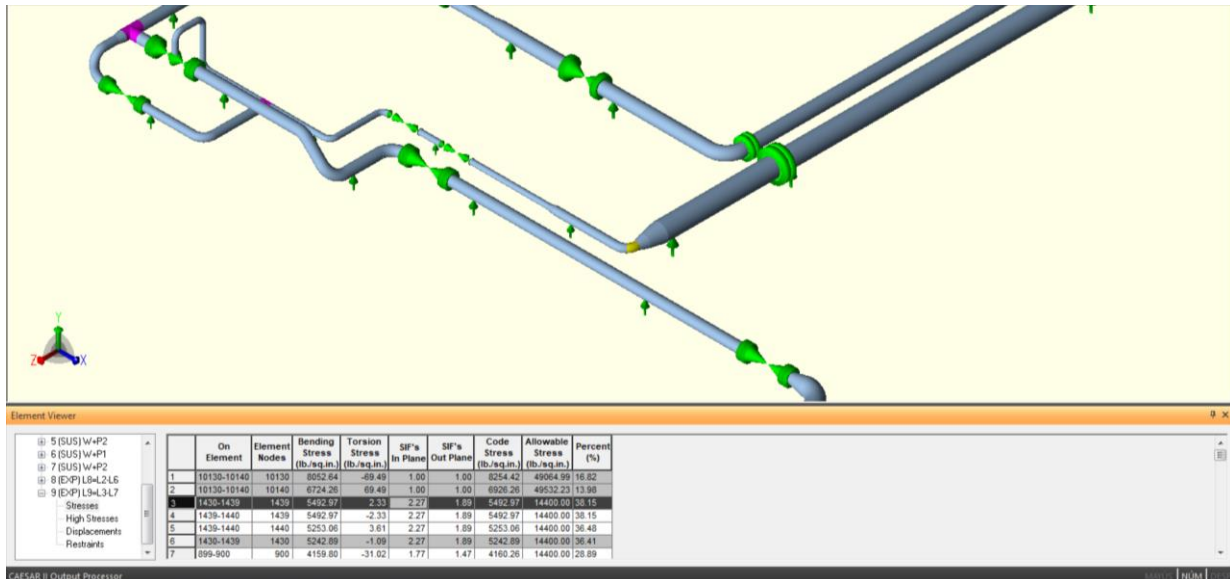


Figura 7. Esfuerzos máximos caso L9 Expansión.

Los esfuerzos se consideran aceptables porque no superan los valores máximos recomendados por el código ASME B31,3.

6.3.2 Recomendaciones de diseño

Evitar modificar los trazados evaluados durante las etapas de la construcción para eliminar riesgos de aumento de cargas no evaluadas, de presentarse cambios durante la construcción se debe realizar un nuevo cálculo incluyendo los cambios constructivos para garantizar la integridad del sistema.

De presentarse cambios de proceso se debe realizar un nuevo cálculo incluyendo los cambios constructivos para garantizar la integridad del sistema.

Los soportes evaluados corresponden al plano listado en este informe, de realizarse cambios, los nuevos soportes deberán ser tenidos en cuenta y se debe realizar un nuevo cálculo incluyendo los cambios constructivos para garantizar la integridad del sistema.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luis Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodyvis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

6.3.3 Valores de carga en las boquillas de la bomba.

Los valores obtenidos en las boquillas de las bombas con el diseño propuesto en general son menores en comparación con los recomendados en la tabla de valores máximos recomendados de cargas en boquillas de bombas API 610. En la boquilla de descarga se presenta una rotación de la tubería la cual genera un mayor momento al admisible, la solución se plantea en el numeral 7 conclusiones y recomendaciones de este documento.

CAESAR II ANALYSIS REPORT: API 610 2010 - Centrifugal Pumps (11th Ed.)

	Discharge	Table 5 Values	Force & Moment Ratios	Status
x distance =	0.0 in.			
y distance =	0.0 in.			
z distance =	0.0 in.			
x force =	-1070.0 lb.	560	1.91	Passed
y force =	1141.0 lb.	700	1.63	Passed
z force =	775.0 lb.	460	1.68	Passed
x moment =	3.0 ft.lb.	1700	0.00	Passed
y moment =	-253.0 ft.lb.	870	0.29	Passed
z moment =	-4215.0 ft.lb.	1300	3.24	Failed
Check of Condition F.1, F.2			Requirement	Status
(FRSa/1.5FRSt4) + (MRSa/1.5MRSt4) =	0.824		< or = 2.00	Passed
(FRDa/1.5FRDt4) + (MRDa/1.5MRDt4) =	2.371		< or = 2.00	Failed
Check of Condition F.3, F.4, F.5			Requirement	Status
1.5 (FRSt4 + FRDt4)	=	4815.	> 2602. (FRCa)	Passed
2.0 (MYSt4 + MYDt4)	=	5340.	> 328. (MYCa)	Passed
1.5 (MRSt4 + MRDt4)	=	10965.	> 3851. (MRCa)	Passed
Overall Pump Status	** FAILED **			

6.3.4 Valores de carga en soportes

La distribución de cargas en los soportes es adecuada, ningún soporte queda sin carga y los desplazamientos no generan sobre esfuerzos en el sistema.

Los valores de carga para el diseño de soportes civiles se deben tomar de la restricción rígida +Y en el eje FY, los valores están dados en libras.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodytis)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

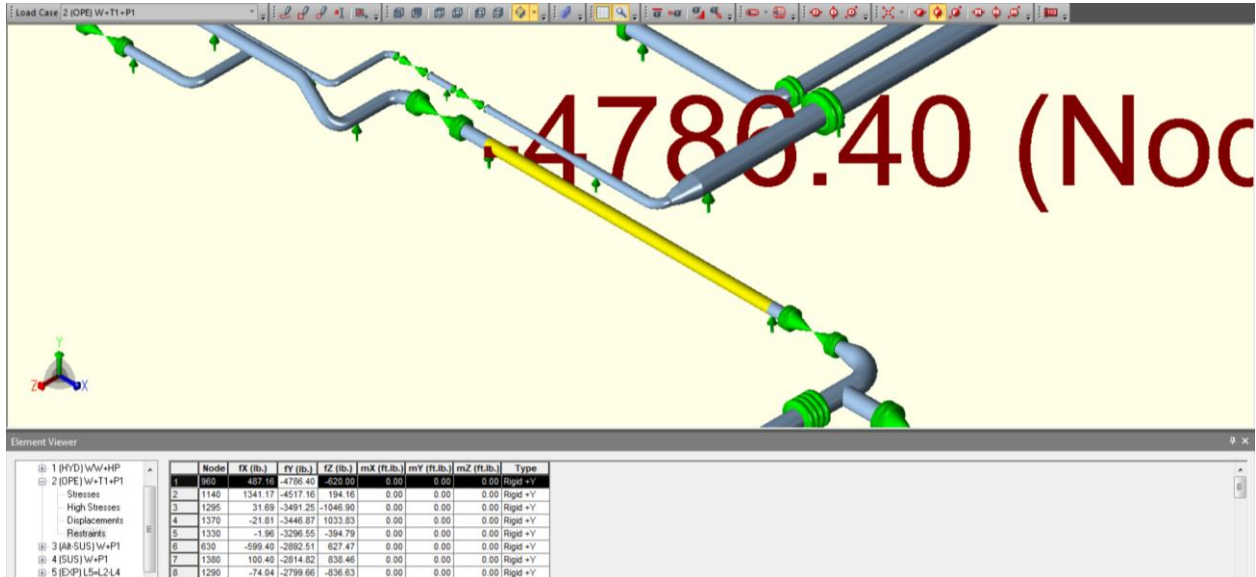
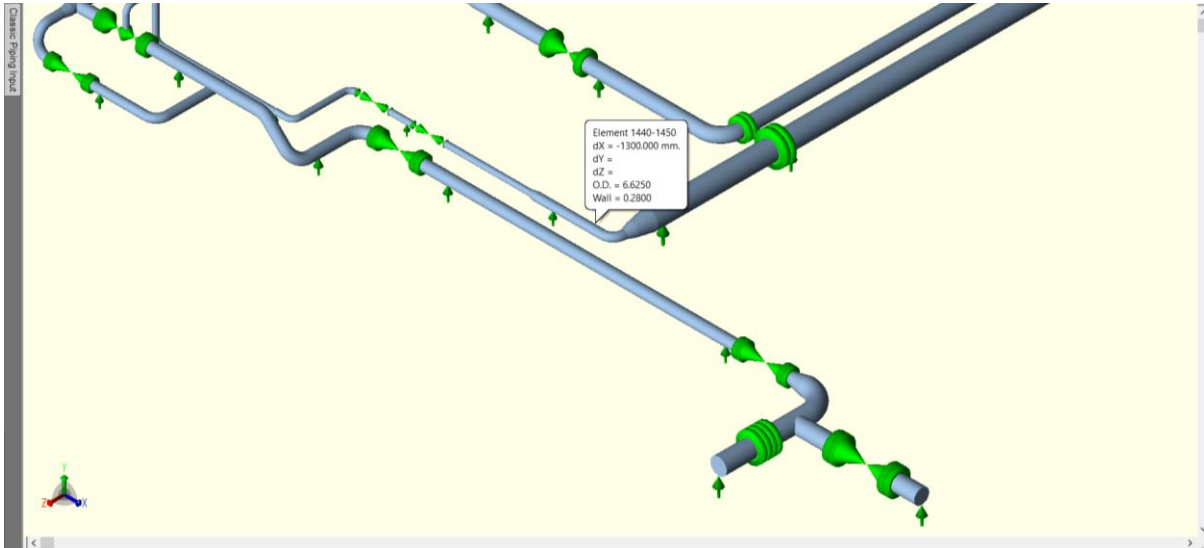


Figura 8. Máximos valores de carga eje Y.

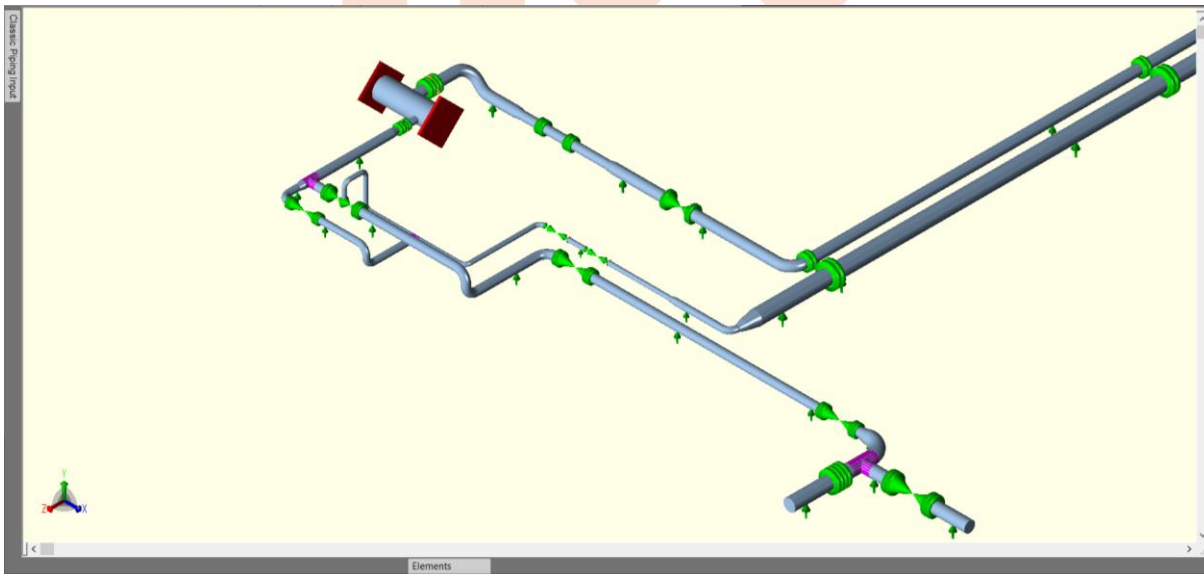
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema de tuberías cumple con el código ASME B31.4, a continuación, se describen las recomendaciones que requiere el sistema de tuberías para obtener menores valores a los recomendados por el código.

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodisys)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades




Se recomienda reubicar el soporte en la línea de recirculación de 6in, dejándolo a 1300mm del eje del codo aguas abajo y colocar un soporte al inicio de la línea de 16in.



Debido al incremento en la temperatura del sistema solicitado por OXY, las cargas en la boquilla de descarga exceden los valores recomendados por el API 610, la solución se plantea haciendo modificaciones en la geometría de las tuberías asociadas a la

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luis Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodisys)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE FACILIDADES INFORME DE FLEXIBILIDAD Líneas de succión, descarga y recirculación Bomba BPC - 7480			
Código:	Vigente desde: Vigente hasta:	Versión 2	Página 17 de 17

descarga de la bomba. Las modificaciones se indican en los isométricos adjuntos a este informe.

CAESAR II 2016 Ver.8.00.00.5600, (Build 150930) Date:MAY 28,2018 @ 6:49
 Job: C:\Unidad de Bombeo Araguaney\Archivos CAESAR II\Rev 3\BOMBA BPC-7480.610
 CAESAR II ANALYSIS REPORT: API 610 2010 - Centrifugal Pumps (11th Ed.)

2

Discharge	Table 5	Force & Moment Values	Status Ratios		
x distance =	0.0 in.				
y distance =	0.0 in.				
z distance =	0.0 in.				
x force =	-361.0 lb.	560	0.64	Passed	
y force =	930.0 lb.	700	1.33	Passed	
z force =	-2.0 lb.	460	0.00	Passed	
x moment =	-225.0 ft.lb.	1700	0.13	Passed	
y moment =	713.0 ft.lb.	870	0.82	Passed	
z moment =	-1794.0 ft.lb.	1300	1.38	Passed	
Check of Condition F.1, F.2			Requirement	Status	
(FRSa/1.5FRSt4) + (MRSa/1.5MRSt4) = 0.754			< or = 2.00	Passed	
(FRDa/1.5FRDt4) + (MRDa/1.5MRDt4) = 1.219			< or = 2.00	Passed	
Check of Condition F.3, F.4, F.5			Requirement	Status	
1.5 (FRSt4 + FRDt4) = 4815.			> 1518. (FRCa)	Passed	
2.0 (MYSt4 + MYDt4) = 5340.			> 728. (MYCa)	Passed	
1.5 (MRSt4 + MRDt4) = 10965.			> 2326. (MRCa)	Passed	
Overall Pump Status ** PASSED **					

Anexo 1. Ver archivo adjunto Reporte API 610 R3

Anexo 2. Ver archivo adjunto Reporte CAESAR II R3

Elaborado / Modificado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Luís Caicedo Ingeniero Mecánico Analista de Flexibilidad	Hernando Gasca (Prodisys)- Gerente	- Gerente de Ing. De Facilidades