

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

- *CAMPUS* BETIM

BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Isaac Victor Pereira Felicio

**USO DA ANÁLISE DE TENSÕES PARA ADEQUAR LAYOUTS DE
TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

Betim

2026

ISAAC VICTOR PEREIRA FELICIO

**USO DA ANÁLISE DE TENSÕES PARA ADEQUAR LAYOUTS DE
TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora
do curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais *Campus* Betim, como parte
dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Evanilton José
Alves Barbosa

Betim

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

F314u Felicio, Isaac Victor Pereira

Uso da análise de tensões para adequar *layouts* de tubulações industriais / Isaac Victor Pereira Felicio. – 2026.

90 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2026.

Orientação: Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa

1. Tubulações industriais. 2. Análise de tensões. 3. Equipamentos industriais. 4. Engenharia Mecânica. I. Felicio, Isaac Victor Pereira. II. Título

CDU: 621.643

Isaac Victor Pereira Felicio

USO DA ANÁLISE DE TENSÕES PARA ADEQUAR LAYOUTS DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora
do curso de Engenharia Mecânica do
Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas
Gerais *Campus* Betim, como parte
dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovado em: 06 / 07 / 2026 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 EVANILTON JOSE ALVES BARBOSA
Data: 16/07/2026 11:53:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Evanilton José Alves Barbosa (Orientador) – IFMG Campus Betim

Documento assinado digitalmente
 LUIS FERNANDO SILVA MOURA
Data: 16/07/2026 12:10:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Me. Luis Fernando Silva Moura (Coorientador) – USP

Documento assinado digitalmente
 VINICIUS MAIA DE SA
Data: 15/07/2026 20:58:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Vinícius Maia de Sá – IFMG Campus Betim

Dedico este trabalho a minha
mãe Cléria Felicio e ao meu
pai Sidney Felicio, que são minha
maior inspiração e o meu porto
seguro.

AGRADECIMENTOS

Expresso minha gratidão ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Betim pela oportunidade de evolução constante. Deixo meu agradecimento especial à minha família, porto seguro em todos os momentos de incerteza. Aos meus amigos que me auxiliaram a tornar a jornada diária menos exaustiva. E aos meus colegas e mestres de profissão, que dividiram comigo os projetos mais desafiadores: vocês transformaram a exaustão em aprendizado e a jornada em companheirismo. Este trabalho é o reflexo não apenas do meu esforço, mas de cada conversa, incentivo e momento de aprendizado compartilhado ao longo desses anos de formação.

“A ciência pode nos fascinar, mas
é a engenharia que transforma o
mundo.” - **Isaac Asimov.**

RESUMO

As tubulações industriais estão frequentemente sujeitas a alterações de temperatura e pressão em seus processos operacionais, gerando dilatações e contrações térmicas que, se não controladas, desenvolvem tensões nocivas ao sistema e aos bocais dos equipamentos conectados. Este trabalho tem como objetivo compreender a importância do estudo de tensões e de flexibilidade para adequar *layouts* de tubulação, garantindo a integridade mecânica das instalações. A metodologia adotada consistiu na utilização de cálculos computacionais por meio do *software* CAESAR II para realizar simulações estáticas de um sistema de bombeamento de ácido sulfúrico em uma planta de alumina. Foram propostas e analisadas três diferentes configurações de arranjo (A, B e C), visando a mitigação das cargas mecânicas. A Configuração A (*layout* inicial) revelou deslocamentos e esforços excessivos nos bocais das bombas. A Configuração B, que modificou o arranjo de sucção, apresentou melhorias, mas manteve algumas cargas elevadas. Já a Configuração C, que incorporou curvas de expansão (liras) e o desenvolvimento de suportes especiais para a sustentação das válvulas, reduziu significativamente os esforços nos bocais. A análise dos resultados foi balizada pelas diretrizes do código ASME B31.3 e restrições fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos. Conclui-se que o uso do *software*, aliado a alterações estratégicas de rota e suportaçoão, foi efetivo para a adequação das tensões primárias e secundárias do projeto, que obteve viabilidade técnica para construção e encontra-se operando com sucesso.

Palavras-chave: Análise de Tensões; Tubulação Industrial; CAESAR II; Flexibilidade; ASME B31.3.

ABSTRACT

Industrial piping systems are frequently subjected to temperature and pressure variations during operational processes, generating thermal expansions and contractions. If left uncontrolled, these phenomena induce harmful stresses within the system and at the nozzles of connected equipment. This study aims to understand the importance of stress and flexibility analysis in adapting piping layouts, thereby ensuring the mechanical integrity of the facilities. The methodology employed computational calculations using CAESAR II software to perform static simulations on a sulfuric acid pumping system within an alumina plant. Three different layout configurations (A, B, and C) were proposed and analyzed to mitigate mechanical loads. Configuration A (the initial layout) revealed excessive displacements and loads on the pump nozzles. Configuration B, which modified the suction arrangement, showed improvements but still maintained some high loads. Configuration C incorporated expansion loops and the development of custom supports to sustain the valves, which significantly reduced the loads on the nozzles. The analysis of the results was guided by the ASME B31.3 code guidelines and the allowable load restrictions provided by the equipment manufacturers. It is concluded that the use of the software, combined with strategic routing and support modifications, was effective in controlling the primary and secondary stresses of the design. The system achieved technical feasibility for construction and has been operating successfully.

Keywords: Stress Analysis; Industrial Piping; CAESAR II; Flexibility; ASME B31.3.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Módulo de elasticidade geral.....	24
Figura 2 - Dilatação.....	26
Figura 3 - Exemplos de suportes fixos.....	31
Figura 4 - Representação dos esforços absorvidos por travas e batentes.....	32
Figura 5 - Trava e batente.....	33
Figura 6 - Representação dos esforços absorvidos por guias.....	33
Figura 7 - Guias horizontais e verticais.....	34
Figura 8 - Representação dos esforços absorvidos por” three ways”	35
Figura 9 - Tipos de ancoragens.....	35
Figura 10 - Deformação das liras.....	36
Figura 11 – Spools.....	41
Figura 12 - Casos de temperatura de operação.....	45
Figura 13 - Casos de pressão	46
Figura 14 - Configuração A com as restrições de deslocamentos	48
Figura 15 - Planta de arranjo da Configuração A	48
Figura 16 - Vista isométrica do arranjo da Configuração A	49
Figura 17 - Configuração B com as restrições de deslocamentos	50
Figura 18 - Planta de arranjo da Configuração B.....	50
Figura 19 - Vista isométrica do arranjo da Configuração B	51
Figura 20 - Configuração C com as restrições de deslocamentos	52
Figura 21 - Planta de arranjo da Configuração C.....	52
Figura 22 - Vista isométrica do arranjo da Configuração C.....	53
Figura 23 - Deformação das configurações de tubulação (ampliação 15 vezes)	56
Figura 24 - Imagem aérea do sistema	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas com análise computacional requerida.	38
Tabela 2 - Dados de processo do fluido e condições de temperatura e pressão.	41
Tabela 3 - Materiais, Espessuras e tensões admissíveis.....	42
Tabela 4 - Esforços admissíveis nos bocais de bomba – pelo fornecedor.....	43
Tabela 5 - Esforços admissíveis nos bocais dos tanques – pelo fornecedor.....	43
Tabela 6 - Casos de carga	44
Tabela 7 - Esforços por configurações no bocal B1.....	57
Tabela 8 - Esforços por configurações no bocal B2.....	57
Tabela 9 - Esforços por configurações no bocal T1	57
Tabela 10 - Esforços por configurações no bocal T2.....	57
Tabela 11 - Tensões máximas atuantes	58
Tabela 12 - Esforços máximos nos suportes	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASME - *American Society of Mechanical Engineers*

ANSI - *American Standard Code for Pressure Piping*

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

API - *American Petroleum Institute*

PTFE – *Polytetrafluoroethylene, Politetrafluoretileno*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

IFMG - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

LISTA DE SÍMBOLOS

F_x	Força na direção x do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N
F_y	Força na direção y do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N
F_z	Força na direção z do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N
M_x	Momento na direção x do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N.m
M_y	Momento na direção y do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N.m
M_z	Momento na direção z do eixo de coordenadas do <i>software</i> Caesar II ®	N.m
S_h	Tensão admissível a quente	kPa
S_l	Tensão sustentada	kPa
S_a	Tensão admissível devido a dilatação	kPa
S_c	Tensão admissível a frio	kPa
f	Fator de correção de fadiga térmica	-
σ	Tensão normal	N/m ²
δ	Deformação total	m
E	Módulo de elasticidade	N/m ²
ϵ	Deformação unitária	m/m
%	Porcentagem	-
<i>mm</i>	Milímetro	-
<i>m</i>	Metro	-
"	Polegada	-
<i>kPa</i>	Kilo Pascal	-
<i>N</i>	Newton	-
<i>lb</i>	Libras	-
°C	Graus Celsius	-
$\leq$	Menor ou igual	-
$\geq$	Maior ou igual	-

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa.....	17
1.2	Caracterização do Problema	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Layout.....	20
2.2	Esforço	21
2.3	Deformação.....	22
2.4	Módulo de elasticidade	24
2.5	Momento de inércia.....	25
2.6	Dilatação térmica.....	25
2.7	Coeficiente de dilatação térmica.....	26
2.8	TENSÕES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS.....	27
2.8.1	Tensões Primárias	27
2.8.2	Tensões Secundárias	28
2.9	TENSÕES ADEQUADAS	28
2.9.1	Limites para Tensões Primárias (S_h):	29
2.9.2	Limites para Tensões Secundárias (S_a):	29
2.10	SUORTES DE TUBULAÇÃO	30
2.10.1	Suortes fixos	31
2.10.2	Restrição dos movimentos de translação	32
2.10.3	Restrição de movimentos laterais	33
2.10.4	Restrição dos movimentos rotacionais e translacionais.....	34
2.11	Dimensionamento de Liras.....	36
3	METODOLOGIA	37
3.1	Método computacional	37
3.2	CAESAR II	38
4	SISTEMA	40
4.1	Descrição do Sistema	40
4.2	Dados da tubulação	41

4.3	Condições climáticas da Planta.....	43
4.4	Condições e casos de análise.....	44
5	ANÁLISE DE FLEXIBILIDADE – AJUSTE DOS ARRANJOS	47
5.1	Configuração A.....	48
5.2	Configuração B.....	50
5.3	Configuração C.....	52
6	DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES DE FLEXIBILIDADE	54
6.1	Critérios de avaliação adotados.....	54
6.2	Estratégias de modificação do layout	55
7	RESULTADOS.....	56
7.1	Observação dos deslocamentos.....	56
7.2	Tensões Máximas Atuantes.....	58
7.3	Cargas nos Suportes	59
8	CONSTRUÇÃO DA LINHA DE TUBULAÇÃO	60
9	CONCLUSÃO	61
10	REFERÊNCIAS.....	63
11	ANEXOS	65
11.1	ANEXO I – Interface de input do Caesar II.....	65
11.2	ANEXO II – Isométrico de flexibilidade.....	66
11.3	ANEXO III – Suporte especial para sustentação das válvulas ..	68
11.4	ANEXO IV – Resultados da simulação no Caesar II	69

1 INTRODUÇÃO

A tubulação pode ser compreendida como um conjunto de tubos e seus acessórios utilizados para transportar fluidos. A sua utilização remonta aos povos antigos, antecedendo até mesmo a história escrita. Foram descobertos vestígios de redes complexas de tubulação nas ruínas da China antiga, Babilônia e Pompeia, entre outras localidades, onde esses povos desenvolveram sistemas de drenagem de rios, irrigação e transporte de fluidos. Com o passar dos anos e os avanços tecnológicos, surgiram os primeiros tubos metálicos, inicialmente fabricados em chumbo (Telles, 1987).

Segundo Silva Telles (1987), a principal referência nacional na área de tubulação, tubos são condutos fechados, destinados, principalmente, ao transporte de fluidos. Esses itens são caracterizados como cilindros ocos que permitem a livre passagem de fluidos em sua seção interna. Tubulação, por sua vez, seria então a nomenclatura que é dada a um conjunto de tubos e seus acessórios. Habitualmente na área de atuação do presente trabalho, tubulações podem vir a ser referidas também como linhas.

As tubulações são componentes vitais no funcionamento de indústrias no geral, visto que elas permitem que os fluidos necessários para os diferentes tipos de processo desempenhados sejam transportados de um ponto A para um ponto B. Por meio de tubos, é possível realizar o transporte de materiais capazes de escoar, tais como líquidos, gases, materiais pastosos, sólidos em suspensão, sob diferentes pressões e temperaturas.

Nesse sentido, a análise de tensões em tubulações, também conhecida como análise de flexibilidade, tem como finalidade evitar esforços danosos, garantindo uma integridade mecânica do sistema de tubulação, assim como dos equipamentos mecânicos, estruturas metálicas e suportes associadas às linhas.

Diante disso, esta pesquisa visa compreender a importância do estudo de tensões tendo como principal fator a dilatação térmica, bem como adequar o arranjo físico (*layout*) de tubulação e suportações por meio do estudo de tensões. Para isso, utilizou-se *softwares* para realizar simulações através de métodos computacionais, com o objetivo de avaliar as tensões geradas em tubulações conforme indicado em normas e procedimentos técnicos.

1.1 Justificativa

Ao longo do processo operacional, os sistemas de tubulação são submetidos a variações de temperatura e pressão, resultando em ciclos de dilatação e contração térmica dos materiais que compõem o sistema, o que promove alterações dimensionais no sistema.

Levando em consideração este ponto, quando o tubo sofre essa mudança de temperatura e, por consequência, caso ele não conte com suportação, que seriam restri es ao livre movimento, o tubo irá se movimentar de forma livre sem desenvolver tensões internas ou reações. Por outro lado, quando o tubo está suportado ou com restrição de livre expansão ou contração térmica surgem tensões internas na parede do tubo e reações nos pontos de fixação. Tais tensões e reações devem ser controladas e limitadas, conforme estabelecido pelas normas aplic aveis, a fim de garantir a segurança estrutural do sistema de tubulação e dos equipamentos conectados.

A escolha deste tema justifica-se pela sua relevância no estudo das tubulações industriais, visto que o conhecimento dos aspectos da análise de tensões internas, flexibilidade, dilatação térmica e conformidade com as normas vigentes   fundamental para a determinação, validação do *layout* de tubulação a ser adotado.

1.2 Caracterização do Problema

Como mencionado anteriormente, os ciclos térmicos gerados pelo processo operacional geram alterações dimensionais no sistema. Essas dilatações resultam em tensões na linha de tubulação que devem ser controladas segundo as normas aplic aveis, a fim de se evitar danos   tubulação, aos seus acessórios e aos bocais dos equipamentos. As tensões podem variar conforme a configuração estabelecida do *layout* assim como a suportação selecionada para a tubulação. Configuração esta que pode promover uma redução ou mesmo um aumento dos níveis de tensão atuantes no sistema.

Logo torna-se essencial compreender as interações entre as tensões e os arranjos de tubulação, bem como identificar estratégias para adequar o *layout* do sistema, assegurando o atendimento aos limites de tensão estabelecidos pelas normas técnicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Compreender a importância do estudo de tensões, com foco principal nos efeitos da dilatação térmica, bem como validar o *layout* de tubulações e o sistema de suportaçoão por meio dessas análises. Para isso, utilizam-se *softwares* especializados que, por meio de métodos computacionais, permitem simular e avaliar as tensões geradas nos sistemas de tubulaçoão.

1.3.2 Objetivos específicos

- Apresentar uma revisão da literatura referente ao estudo de análise de tensões em tubulaçoões industriais;
- Realizar simulaçoões através do *software* CAESAR II para análise de flexibilidade (análise de tensões);
- Comparar os resultados apresentados pelo *software* CAESAR II com as normas regulamentadoras vigentes, a exemplo a ASME B31.3.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise de tensões visa estudar um sistema de tubulação como um conjunto de elementos mecânicos, utilizando para isso teorias da resistência dos materiais. O objetivo dessa análise é o cálculo das tensões desenvolvidas na tubulação devidas à pressão, peso próprio, dilatação e contração térmica, atrito, movimento de pontos extremos, vibrações, entre outros efeitos, bem como a comparação dessas tensões com valores admissíveis fornecidos pelas normas e códigos aplicáveis. (Quadrelli, 1987).

Segundo Telles (1987), cada segmento de tubulação pode ser considerado um elemento estrutural, o qual está submetido a diferentes tipos de carregamentos e responsável pela transferência de esforços ao sistema de suportes e aos equipamentos interligados. Cálculos de flexibilidade de um arranjo são definidos como os cálculos das tensões internas e as reações nos pontos extremos e outros pontos de fixação da tubulação, que resultam das dilatações e ou movimentos dos pontos extremos da própria tubulação.

Conforme descrito por M.W. Kellogg (1946), nos casos mais simples, a falha de uma parte estrutural ocorre quando uma certa função das componentes de tensão ou deformação atinge um valor crítico. Assim, cabe ao projetista/engenheiro compreender: (a) como as tensões e deformações podem ser calculadas a partir da carga aplicada; (b) quais são as combinações críticas de tensão e deformação que levam às falhas.

Com a finalidade de padronizar e minimizar acidentes relacionados a tubulações industriais, foram criadas uma série de normas com o objetivo da padronização dos processos de fabricação, montagem e ensaio de tubos e seus acessórios. Dentre estas normas destacam-se a “*American Society of Mechanical Engineers*” (ASME), fundada em 1880. Na área de tubulações industriais, a principal referência é a “*American Standard Code for Pressure Piping*” – ANSI.B.31, sendo subdividida em B31.1, B31.2, B31.3, B31.4.

Para a especificação de materiais de tubos e acessórios, tais como válvulas, conexões, parafusos, juntas, acessórios, revestimento, tintas, dentre outros, são difundidas as normas da “*American Society for Testing and Materials*” (ASTM), por exemplo, as normas ASTM A53, ASTM A105, ASTM A106.

Em território brasileiro é necessário citar os padrões desenvolvidos pela Vale, empresa referência no setor de mineração, assim como os desenvolvidos pela Petrobras, empresa referência na área de óleo e gás. Padrões estes que foram desenvolvidas com base em normas como a ASME, ASTM, API (*“American Petroleum Institute”*) e a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

2.1 Layout

No contexto de instalações industriais, o arranjo físico — comumente referido pelo termo em inglês *layout* — compreende a distribuição espacial e o roteamento tridimensional de todas as linhas de tubulação que interligam os equipamentos de uma planta. O objetivo principal do *layout* é viabilizar o transporte de fluidos de maneira segura, econômica e operável. Essa concepção geométrica deve conciliar rigorosamente os requisitos do processo às restrições físicas e estruturais do ambiente industrial, estabelecendo a trajetória ideal para cada linha.

O desenvolvimento de um *layout* eficiente é um processo iterativo que exige do projetista uma apurada visão espacial e o estrito cumprimento de premissas técnicas. Para Silva Telles algumas das principais diretrizes consolidadas no traçado das tubulações industriais devem incluir:

- **Flexibilidade Inerente:** A trajetória da tubulação não deve ser projetada visando exclusivamente a menor distância entre dois pontos. É imperativo prever mudanças de direção (configurações em 'L', 'Z' ou liras de expansão) que confirmem ao sistema a capacidade natural de absorver dilatações térmicas, minimizando as tensões no material e os esforços transferidos aos bocais dos equipamentos.

- **Acessibilidade e Ergonomia:** O arranjo deve garantir que válvulas, instrumentos e pontos de bloqueio fiquem em elevações acessíveis à equipe de operação. Paralelamente, exige-se a previsão de áreas livres para manobras de manutenção, como a remoção de feixes tubulares ou a desmontagem de equipamentos rotativos, levando também em consideração os espaços de circulação dos operadores.

- Otimização de Traçado e Suportação: Recomenda-se que linhas com destinos semelhantes sejam agrupadas em leitos paralelos (como *pipe racks* – estruturas elevadas que suportam e organizam tubos). Essa prática racionaliza o uso de perfis metálicos, simplifica a concepção dos suportes e reduz consideravelmente os custos globais de montagem.

- Gestão de Interferências: O *layout* deve desviar de obstáculos, rotas de fuga, bandejamentos elétricos e dutos de ventilação. É necessário também assegurar folgas adequadas entre linhas adjacentes para acomodar a espessura do isolamento térmico, os deslocamentos operacionais e os raios de curvatura das conexões.

- Previsibilidade Estrutural: Um bom arranjo nasce alinhado à estratégia de sustentação da linha. O projetista deve direcionar a tubulação para próximo de estruturas metálicas ou pilares civis existentes, evitando vãos livres excessivos que resultariam em deflexões inaceitáveis por peso próprio.

Alguns conceitos fundamentais são necessários para a análise de esforços em sistemas de tubulação:

2.2 Esforço

Definido como a função das forças internas em um corpo resultantes de aplicação de cargas externas.

Em uma seção estrutural, a força interna total é a resultante das forças distribuídas que atuam sobre cada elemento do material. Na prática da Resistência dos Materiais, a análise não se baseia apenas na força resultante global, mas sim na intensidade com que essa força atua sobre cada elemento de área. A essa intensidade distribuída dá-se o nome de tensão (ou esforço unitário).

O esforço unitário é definido como a força por unidade de área, que é expressa algebricamente na Equação 2.1.1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1.1)$$

Onde:

σ = esforço unitário em lbf/pol² ou em N/m²

P = carga aplicada em lb ou N.

A = área sobre qual a carga atua, em pol² ou m².

Portanto, a tubulação deve ser projetada para apresentar um comportamento estrutural capaz de resistir às condições de operação, de projeto e ocasionais às quais será submetida, com a flexibilidade necessária para controlar as expansões e/ou contrações térmicas. Dessa forma, evita-se que a tubulação sofra deformações excessivas que possam causar vazamentos ou o seu colapso repentino ou por fadiga. Da mesma forma, as forças externas transmitidas pela tubulação para suportes e equipamentos também devem estar dentro de valores admissíveis.

2.3 Deformação

Segundo Telles deformação é à mudança de forma ou comprimento devido a forças internas ou externas que atuam na tubulação, representada na Equação 2.2.1. Sendo os principais tipos de deformação em uma tubulação:

- Deformação longitudinal: alteração no comprimento da tubulação.
- Deformação radial: mudança no diâmetro da tubulação.
- Deformação angular: alteração no ângulo ou na forma da tubulação.

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.2.1)$$

Onde:

ϵ = deformação unitária, em m/m ou polegada/polegada

δ = deformação total, em m ou polegada.

L = comprimento inicial, em m ou polegada.

A deformação total δ , representada pela equação 2.2.2, é diretamente proporcional à carga P e ao comprimento inicial L , e inversamente proporcional à área da seção transversal A .

Isso ocorre porque, quanto maior a carga, maior a deformação, conforme estabelecido pela Lei de Hooke. Além disso, quanto maior o comprimento, mais moléculas estão presentes em cada fibra (que são linhas imaginárias longitudinais do material, paralelas ao eixo da tubulação, que representam como as deformações e tensões se distribuem ao longo da seção transversal do tubo), o que faz com que o alongamento acumulado de cada fibra seja maior. Já a deformação é inversamente proporcional à área, pois à medida que a área aumenta, mais fibras estão disponíveis para suportar a carga, e cada fibra suportará uma parte menor da carga.

Para expressar isso matematicamente, deve-se incluir a constante de proporcionalidade, correspondente ao inverso do módulo de elasticidade longitudinal, ou o módulo de Young. A equação para a deformação total de uma barra carregada axialmente pode então ser escrita conforme a Equação 2.2.2.

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (2.2.2)$$

Onde:

δ = deformação total, em m ou polegada.

L = comprimento inicial, em m ou polegada.

P = carga aplicada, em lb ou em N.

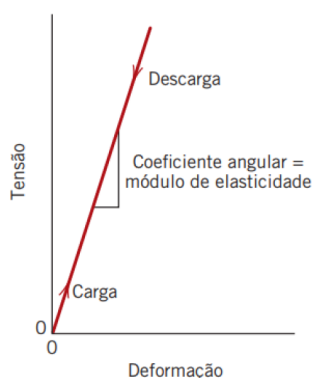
A = área da seção transversal, em plg^2 ou em m^2 .

E = módulo de elasticidade, em lb/plg^2 , ou N/m^2 ou Pa.

2.4 Módulo de elasticidade

Também conhecido como módulo de Young, é uma medida de rigidez de um material sólido e é definido pela inclinação da sua curva tensão-deformação. Quanto maior o módulo de elasticidade, mais rígido é o material, apresentando, portanto, uma curva tensão-deformação com uma maior inclinação, representado pela Figura 1.

Figura 1 - Módulo de elasticidade geral.



Fonte: Adaptado de Callister, 2016.

A elasticidade é a propriedade que permite a um corpo deformar-se quando submetido a forças externas e retornar à sua forma original após a remoção dessas forças, desde que o limite elástico do material não seja ultrapassado.

O módulo de elasticidade de um material varia em função da temperatura. Conforme a temperatura de um corpo aumenta, há uma tendência da diminuição do módulo de Young (módulo de elasticidade). Essa variação é um fator importante ao considerar a deformação elástica sob carregamento, sendo de suma importância no estudo das tensões e reações decorrentes das expansões térmicas.

Os valores desse parâmetro podem ser encontrados no Apêndice C, Tabela C6 do código ASME B31.3, ou nas Tabelas C1, C2 e Apêndice C do código ASME B31.1.

2.5 Momento de inércia

O momento de inércia de uma seção está relacionado à sua capacidade de resistir à rotação em torno de um eixo, sendo determinada pela geometria, pelo tamanho da seção e pela distribuição de massa. Para o caso dos tubos, quanto maiores forem a espessura e o diâmetro, maior será o momento de inércia. Sendo obtido pela Equação 2.4.1.

$$I = 0.0491(D^4 - d^4) \quad (2.4.1)$$

Onde:

D = diâmetro externo do tubo, em polegadas ou em metros.

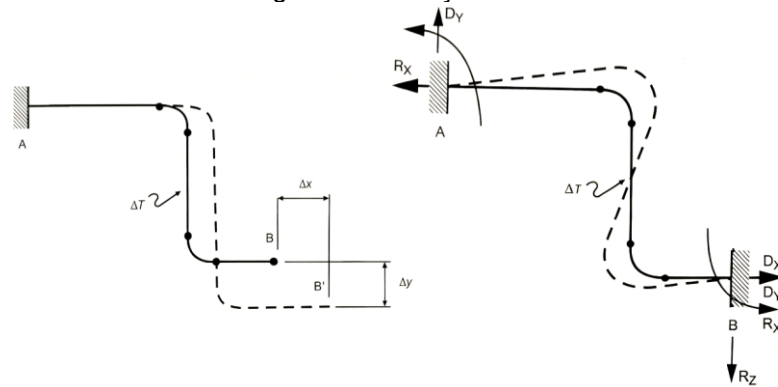
d = diâmetro interno do tubo, em polegadas ou em metros.

2.6 Dilatação térmica

Uma outra forma que um corpo pode se sujeitar a esforços é através da dilatação térmica. Esse fenômeno ocorre quando a temperatura de um corpo é alterada, gerando variações de comprimento que podem ser calculados através do uso da Equação 2.5.1.

Em condições teóricas onde o trecho de tubulação está completamente livre de restrições, esse fenômeno de dilatação térmica causaria apenas deslocamentos lineares, sem a indução de esforços internos. Contudo em condições reais onde os tubos se encontram com restrições de suportes, guias e a própria conexão com equipamentos, é natural a indução de forças e momentos fletores ao longo do sistema convertendo a energia térmica no que se denominam como tensões térmicas. Podendo ser observado na Figura 2, onde essa condição teórica é representada pela imagem da esquerda enquanto a real é representada pela da direita.

Figura 2 - Dilatação



Fonte: Adaptado de França Filho, 2013.

Dessa forma, a análise de flexibilidade deve atuar no estudo das restrições de modo a permitir o sistema absorver os deslocamentos térmicos de maneira controlada, mantendo as tensões e esforços dentro dos valores admissíveis.

$$\delta_T = \alpha L \Delta T \quad (2.5.1)$$

Onde:

δ_T = Variação de comprimento devido à mudança de temperatura.

α = coeficiente de dilatação térmica.

L = comprimento inicial.

ΔT = variação de temperatura.

2.7 Coeficiente de dilatação térmica

O coeficiente de dilatação linear de um sólido é definido como o aumento de uma unidade de comprimento para cada grau de variação de temperatura. Esse coeficiente é comumente expresso em cm/cm °C, mm/mm °C ou pol./pol. °F.

Os valores de coeficiente de dilatação térmica são características de cada material e podem ser encontrados no apêndice C, tabela C1 do código ASME B31.3, ou nas tabelas B1, apêndice B do código ASME B31.1.

2.8 TENSÕES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS

Conforme estabelecido pelas normas ASME B31.3 e PETROBRAS N-1673, as tensões envolvidas no projeto e análise de sistemas de tubulação industrial são classificadas, de maneira geral, em dois grupos distintos, com base em sua origem e modo de atuação sobre os componentes da linha.

2.8.1 Tensões Primárias

Para França Filho, tensões primárias são tensões causadas diretamente por forças e carregamentos aplicados ao sistema, tais como pressão, peso próprio, vento e eventos ocasionais, gerando esforços mecânicos, como compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento.

- Pressão interna e externa: resultam da pressão exercido pelo fluido dentro da tubulação.

- Tensões Axiais: ocasionadas pelo próprio peso da tubulação e do fluido transportado. Podendo surgir também em casos ocasionais provocados por forças externas, como vento ou eventos sísmicos.

- Tensões de flexão: tensões geradas em pontos de suportação/fixação da tubula o, onde há restri o ao deslocamento ou   rota o, pontos onde ocorrem uma resistência à curvatura.

- Tensões de Cisalhamento: tensões geradas por cargas aplicadas que provocam esforços tangenciais na se o transversal da tubula o induzindo movimentos relativos divergentes entre diferentes partes da tubula o.

- Tensões primárias não são autolimitantes, onde com o aumento da carga no sistema há um aumento proporcional da tensão, cargas estas que não reduzem por uma redistribui o de deforma es no sistema. O aumento excessivo destas tensões pode levar ao colapso estrutural da tubula o.

2.8.2 Tensões Secundárias

Segundo França Filho (2013), tensões secundárias são tensões que estão, principalmente, relacionadas às restrições de movimento e não são diretamente causadas por carregamentos externos, como ocorre com as tensões primárias. Essas tensões surgem por deformações induzidas no sistema sendo fatores críticos na análise de fadiga e durabilidade das linhas de tubulação.

As principais causas das tensões secundárias incluem:

- Dilatação térmica: quando aquecida, a tubulação tende a dilatar. Caso essa linha apresente restrições à livre movimentação, impostas por suportes, ancoragens ou conexões com equipamentos, tensões secundárias podem se desenvolver.
- Contração térmica: o resfriamento da tubulação causa um efeito de contração do material, gerando um efeito semelhante aos da dilatação térmica, resultando igualmente no surgimento de tensões.
- Restrições impostas por suportes e fixações.
- Tensões secundárias são autolimitantes por definição, surgindo devido a restrições de deslocamento ou deformação no sistema, podendo ser parcialmente absorvidas, aliviadas por deformações elásticas no sistema, sem necessariamente causar um colapso estrutural.

2.9 TENSÕES ADMISSÍVEIS

A definição dos limites de tensão é fundamental para garantir a integridade estrutural do sistema, variando de acordo com a categoria da tensão atuante, seja ela primária ou secundária. As normas de projeto, como a ASME B31.3, estabelecem critérios distintos para cada tipo de tensão, visando prevenir diferentes modos de falha.

2.9.1 Limites para Tensões Primárias (Sh):

Como as tensões primárias não são autolimitantes, se o limite de escoamento do material for ultrapassado, ocorrerá deformação plástica excessiva ou ruptura imediata da parede do tubo. Portanto, a tensão admissível para cargas sustentadas deve ser mantida abaixo da tensão básica do material à temperatura de projeto.

- Critério de Falha: colapso plástico ou ruptura.
- Limite: a soma das tensões longitudinais devidas à pressão, peso e outras cargas sustentadas (Sl) não deve exceder a tensão admissível básica do material à temperatura de operação (Sh), como expresso na Equação 2.8.1.

$$Sl \leq Sh \quad (2.8.1)$$

2.9.2 Limites para Tensões Secundárias (Sa):

Para França Filho (2013), diferentemente das tensões primárias, as tensões secundárias são autolimitantes, induzem uma redistribuição de esforços, limitando naturalmente o seu próprio crescimento. O principal modo de falha associado a elas não é o colapso imediato, mas sim a fadiga do material causada pela ciclagem térmica decorrente de sucessivos ciclos de aquecimento e resfriamento ao longo da vida útil da planta. Por isso, o limite admissível é significativamente maior, permitindo que o material entre em regime de *shakedown*, em que as deformações ocorrem de forma elástica após ciclos iniciais de acomodação.

- Critério de Falha: fadiga, associada à falha por ciclos repetidos de variação de tensão.
- Limite: as tensões decorrentes de expansão térmica ou deslocamento (Se) são comparadas com a Faixa de Tensão Admissível (Sa), calculada geralmente pela Equação 2.8.2.

Onde (S_c) é a tensão admissível na temperatura ambiente e (f) é um fator de redução da faixa de tensão com o número de ciclos.

$$S_a = f(1,25 * S_c + 0,25 * S_h) \quad (2.8.2)$$

2.10 SUPORTES DE TUBULAÇÃO

Os suportes de tubulação desempenham um papel essencial na análise de flexibilidade, processo no qual são especificados, escolhidos e posicionados ao longo das tubulações. O termo suporte é utilizado para designar todos os tipos de elementos de restrição de movimento utilizados em uma tubulação, não se limitando apenas aos elementos utilizados para sustentar o próprio peso, os chamados apoios (FRANÇA FILHO, 2013).

De modo geral, os suportes de tubulação são dispositivos projetados para sustentar, guiar e restringir o movimento das tubulações, sendo elementos essenciais para a garantia da segurança e estabilidade das linhas de tubulação, atuando como elementos estruturais.

Segundo Telles (1987), a especificação e o projeto do conjunto de suportes são etapas importantes do projeto global de um sistema de tubulações. Isso se deve não apenas pelos suportes – incluindo suas estruturas e fundações – representarem um custo muitas vezes elevado, mas também porque os suportes mal especificados ou mal projetados podem comprometer seriamente o funcionamento e a segurança da instalação. Essas falhas podem resultar em flechas excessivas e distorções nos tubos, flexões excessivas, vazamentos em válvulas, flanges e outros acessórios, além de gerar cargas excessivas em bocais de equipamentos.

A classificação de suportes de tubulações pode ser dada em:

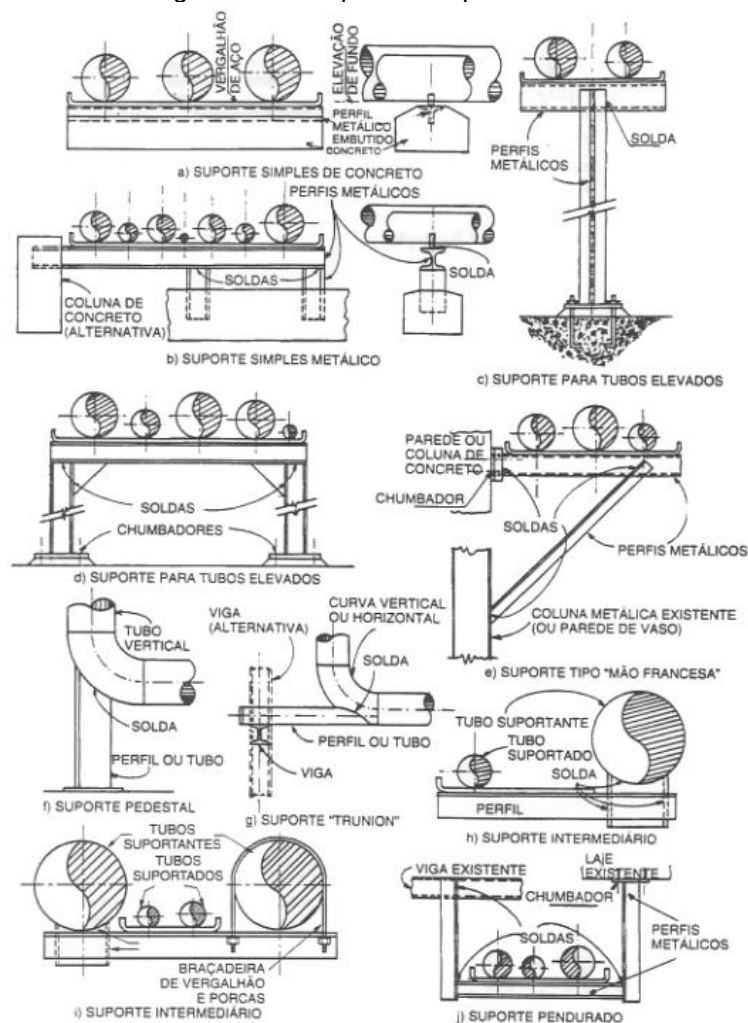
- Suportes fixos;
- Restrição dos movimentos de translação;
- Restrição de movimentos laterais;
- Restrição ao movimento rotacional e translacional.

2.10.1 Suportes fixos

São suportes que não permitem deslocamentos verticais da tubulação, impedindo, assim, movimentos nessa direção. São os mais comuns de todos os tipos de suportes (Telles, 1987).

Existe uma grande variedade de tipos e modelos de suportes fixos, podendo ser constituídos de metal, concreto ou de estruturas mistas. Na Figura 3 estão representados alguns dos suportes fixos mais frequentemente utilizados.

Figura 3 - Exemplos de suportes fixos.

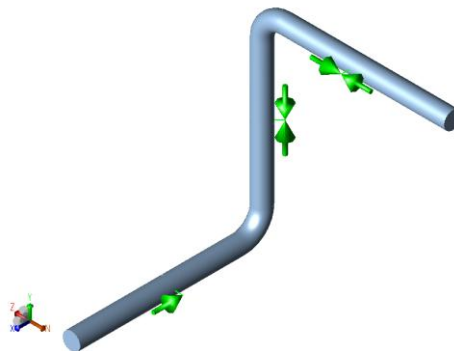


Fonte: Adaptado de Telles, 1987.

2.10.2 Restrição dos movimentos de translação

São suportes que limitam os movimentos translacionais axiais em tubulações (Figura 4), sendo eles nomeados como batentes e travas. As travas limitam completamente o movimento axial nos dois sentidos, já o batente limita apenas em um sentido.

Figura 4 - Representação dos esforços absorvidos por travas e batentes

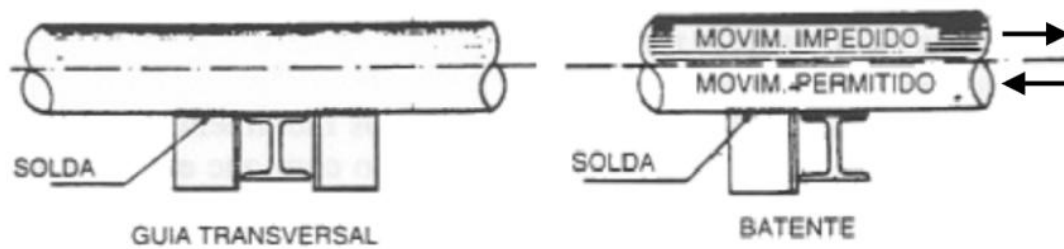


Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Segundo Telles (1987), o caso típico de emprego das travas (comumente chamadas de guias transversais) e batentes é a proteção de equipamentos e orientação de dilatações térmicas. Esses dispositivos têm como função principal evitar movimentos na direção axial, como no caso das tubulações de sucção de bombas, evitando que deslocamentos térmicos sejam transmitidos aos bocais dos equipamentos.

Geralmente esse tipo de restrição é fixado diretamente a tubulação por meio de solda, como indicado na Figura 5.

Figura 5 - Trava e batente

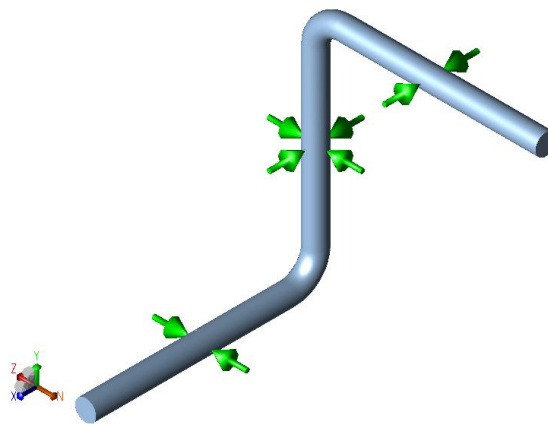


Fonte: Adaptado de Telles, 1987.

2.10.3 Restrição de movimentos laterais

São os suportes utilizados para impedir movimentos laterais, radiais em um ou dois eixos, normalmente chamados de guia. Sua principal função é orientar o tubo de maneira que ele se mantenha alinhado, não permitindo deslocamentos transversais, como indicado na Figura 6.

Figura 6 - Representação dos esforços absorvidos por guias



Fonte: Elaborado pelo autor, (2026).

As guias para tubos podem ser divididas em dois principais grupos:

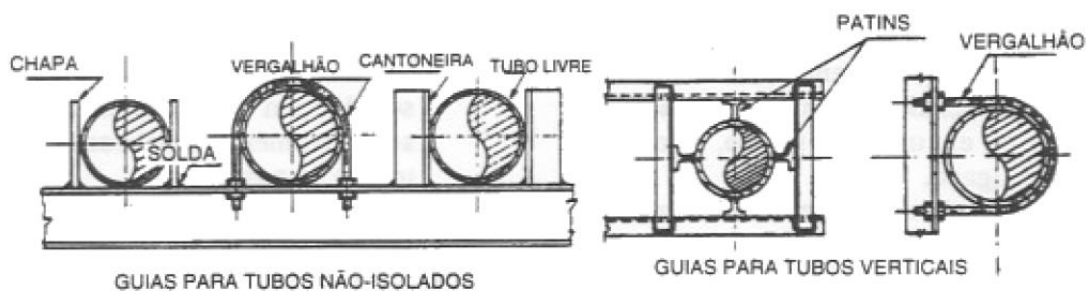
Guias destinadas a tubos horizontais (Figura 7) normalmente consistem em barras ou perfis metálicos soldados à viga ou à chapa de apoio da linha. Esses elementos são posicionados com uma pequena folga entre o perfil e o tubo, de forma a permitir o deslocamento axial sem geração atrito significativo.

Outra configuração de guia para tubos horizontais são os chamados grampos, que são vergalhões com o formato de "U" que abraçam o tubo e são

aparafusados na extremidade oposta a uma viga ou chapa de apoio. Da mesma forma, mentem-se uma pequena folga entre grampo e tubo, garantindo a função de guia de modo a não gerar atrito.

As guias destinadas a tubos verticais (Figura 7), devem limitar os movimentos em duas direções do plano ortogonal. Sua construção é, em geral, similar à das guias horizontais, diferindo na orientação e na disposição dos elementos de restrição.

Figura 7 - Guias horizontais e verticais



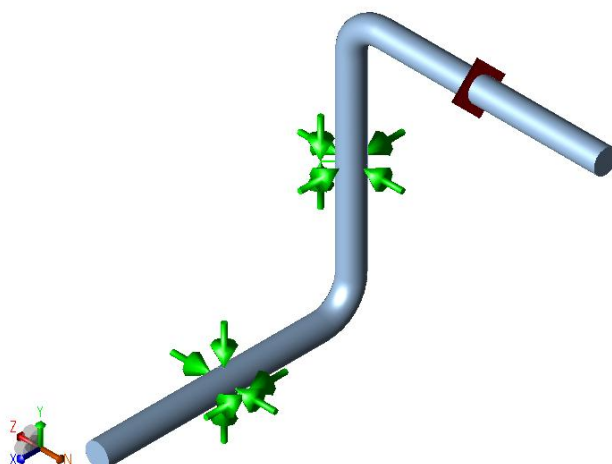
Fonte: Adaptado de Telles, 1987.

2.10.4 Restrição dos movimentos rotacionais e translacionais

Esses suportes têm como finalidade restringir simultaneamente movimentos de translação e rotação em uma tubulação, recebendo o nome de ancoragem. As ancoragens funcionam como uma combinação das restrições anteriores, conforme representada na Figura 8.

Os “*three ways*” são um tipo de suporte com comportamento muito semelhante às ancoragens, porém, permitindo o movimento rotacional em torno da geratriz do tubo.

Figura 8 - Representação dos esforços absorvidos por "three ways"



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Segundo Telles (1987), o uso de ancoragens deve ser limitado aos casos em que haja a necessidade de se impedir totalmente a propagação de esforços e vibrações, visto que esse tipo de dispositivo restringe muito a flexibilidade natural do sistema de tubulação.

O emprego de ancoragens ocorre, sobretudo, em situações como a divisão de linhas extensas, em tubulações que possuem juntas de dilatação, na conexão de bocais de equipamentos, na delimitação de áreas e em outras aplicações similares. A forma geométrica dessas ancoragens pode variar conforme a exigência do projeto, podendo ser soldadas diretamente ao tubo ou instaladas por meio de braçadeiras, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Tipos de ancoragens



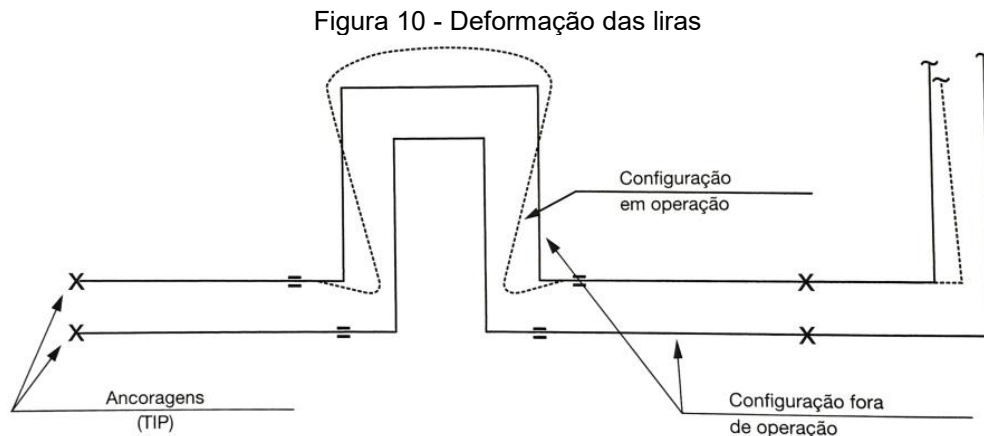
Fonte: Adaptado de Metraflex, 2026.

2.11 Dimensionamento de Liras

As Liras, também conhecidas como “*loops*” ou curvas de expansão, são configurações de tubulações que, à primeira vista, podem parecer pouco intuitivas ou sem uma função prática. Sob a visão da análise do comportamento de fluidos, podem, de fato, causar aumento da perda de cargas no sistema. Porém, são de suma importância para solucionar o problema de flexibilidade de trechos horizontais longos, como ilustrada na Figura 10.

Dessa forma, as curvas de expansão constituem, em geral, o meio mais seguro e, dentro de certos limites, aquele que apresenta o melhor custo-benefício para absorver os grandes deslocamentos decorrentes da expansão/contração térmica dos longos trechos horizontais das tubulações (FRANÇA FILHO, 2013).

A alteração intencional na geometria da tubulação permite a compensação da expansão térmica, mitigando as cargas mecânicas — como tensões, forças e momentos — que, de outra forma, seriam transmitidos aos suportes e ancoragens.



Fonte: Adaptado de França Filho, 2013.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa é quantitativa. Para as análises foi utilizado o *software* CAESAR II, distribuído pela HEXAGON, reconhecido como um dos *softwares* de cálculo de flexibilidade que permite simulações estáticas e dinâmicas de sistemas de tubulação seguindo normas internacionais. O CAESAR II atende com precisão as demandas exigidas durante os processos de verificação de engenharia e atendimento às normas vigentes. É um *software* amplamente utilizado no mercado internacional e nacional para análise de tubulações industriais, atendendo exigências de empresas como PETROBRAS e VALE.

Por meio do *software*, será executada a análise de esforços e cargas aplicadas na tubulação e seus acessórios, assim como em bocais de equipamentos. O presente trabalho irá utilizar das normas ASME, ANSI e ASTM como parâmetros para os resultados admissíveis apresentados.

3.1 Método computacional

No presente trabalho não serão abordados os métodos de cálculo manual, uma vez que, segundo França Filho (2013), a aplicação desses métodos é viável apenas para sistemas mais simples. Além disso, requerem um tempo elevado para a execução, facilitam o aparecimento de erros durante a sua execução e nem sempre favorecem os níveis de precisão requeridos. Tendo este ponto em consideração, faz-se vantajoso o uso de cálculos computacionais.

Durante esta etapa é necessário que um engenheiro responsável pelo projeto execute as atividades:

- 1 – Definir os sistemas de tubulação críticos;
- 2 – Certificar a conformidade dos sistemas com os requisitos especificados em normas;
- 3 – Definir os suportes padrão a serem utilizados;
- 4 – Certificar que as cargas geradas nos pontos de restrição são adequadas aos elementos estruturais e bocais de equipamentos;
- 5 – Preparar e emitir a memória de cálculo.

O tópico 1 refere-se à tarefa de determinar os sistemas de tubulação que demandam uma análise minuciosa. Há diferentes definições estabelecidas em normas e critérios de projeto para essa classificação. Como exemplo ilustrado na Tabela 1, a norma Petrobras N-57 (2017) sugere um critério para a determinação de sistemas que necessitam de uma análise de flexibilidade computacional. A tabela correlaciona os tipos de sistema (tanques de armazenamento, resfriadores a ar, rotodinâmicos) e a temperatura de operação da linha, indicando ou não a necessidade da análise computacional levando em conta os aspectos anteriores e o diâmetro nominal da tubulação (NPS).

Tabela 1 - Sistemas com análise computacional requerida.

Sistemas	Temperatura (°C)	NPS											
		≤11/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	≥ 20
Tanques de armazenamento	Qualquer												
Resfriadores a ar	Qualquer												
Rotodinâmicos	Qualquer												
Geral	>260												
	≥ 205 e < 260												
	≥ 150 e < 205												
	≥ 90 e < 150												
	≥ 40 e < 150												
	≥ 5 e < 40												
	< 5												

Fonte: Adaptado de Petrobras N-57, 2017.

3.2 CAESAR II

O *software* CAESAR II é uma ferramenta de análise de tensões comumente utilizada no setor de tubulações industriais. É uma plataforma completa de uso intuitivo, cuja interface de entrada de dados é ilustrada no **ANEXO I – Interface de input do Caesar II**, permitindo a realização de simulações complexas com diferentes tipos de carregamentos.

As análises elaboradas por esse *software* são baseadas pela Teoria de Vigas aplicada através do Método dos Elementos Finitos (MEF), em que os tubos são modelados como elementos de barra com dois nós e seis graus de liberdade. Já os demais elementos do sistema, como curvas e ramificações, são baseados em nós com fatores de intensificação de tensão. Onde:

- Nós: são as coordenadas espaciais que delimitam o início e o fim de um elemento.

- Grau de liberdade: é a capacidade independente que um objeto tem de se mover ou rotacionar no espaço, considerando a mecânica clássica, qualquer nó livre no espaço, possui 6 graus de liberdade, 3 de translação – ao longo do eixo global (DX, DY, DZ) e 3 de rotação – movimentos de torção ou flexão ao redor do eixo global (RX, RY, RZ).

- Fatores de intensificação: é um multiplicador matemático utilizado para prever o aumento local de tensão causado por irregularidades geométricas.

As principais características do programa CAESAR II são:

- Utilização da teoria dos elementos finitos para analisar sistemas de tubulação complexos sujeitos a carregamentos estáticos e dinâmicos.

- Consideração de cargas operacionais e ocasionais (ventos, marés, acelerações sísmicas, acúmulo de material, etc.) atuantes nos sistemas.

- Disponibilidade de bibliotecas de acessórios e materiais de tubulação.

- Possibilidade de representação gráfica do modelo do sistema de tubulação, ao mesmo tempo em que os dados são inseridos para a geração desse sistema.

- Capacidade de introdução de deslocamentos externos.

Sua principal função é a modelagem, análise e verificação do projeto de sistemas de tubulação, objetivo alcançado por meio do estudo de aspectos fundamentais da análise de tubulações, tais como:

- a. Esforços devido à carga sustentada, expansão térmica e operação da tubulação.

- b. Esforços e reações em bocais de equipamentos rotativos e vasos de pressão, conforme as normas da API.

- c. Modelagem e seleção de suportes.

- d. Cálculo de deslocamentos e deflexões nas tubulações.

- e. Análise e resultados com base em normas padrão de projeto.

4 SISTEMA

4.1 Descrição do Sistema

Para a análise de flexibilidade, foi selecionado um sistema de tubulação pertencente a uma planta hidrometalúrgica de obtenção de alumina, conectado aos bocais de dois tanques e de duas bombas. O fluido bombeado é ácido sulfúrico.

O sistema (sucção de bombas) é composto, em sua totalidade, por cinco linhas, quatro válvulas e conexões de 10 polegadas. Duas dessas linhas partem dos bocais dos tanques e, após passarem por válvulas de retenção do tipo gaveta, convergem em um ponto central. Posteriormente, com a utilização de um “tê”, elas se unem em apenas uma tubulação, que segue em uma rota em direção às bombas. Em um certo ponto, essa linha (outro modo a qual as tubulações são habitualmente referidas) é novamente separada em duas outras com um uso de um “tê”, sendo direcionadas para duas válvulas de bloqueio do tipo gaveta e, assim, chegam aos bocais de sucção das bombas. O sistema conta com cinco pontos de suportação. Podendo ser melhor compreendido através da visualiza o da Figura 15 e da Figura 16 que identifica melhor os componentes.

Como se trata de linhas revestidas que dispõe de uma camada interna de PTFE – politetrafluoretileno, os componentes são fornecidos no formato de “*spools*”, que podem ser visualizados na Figura 11, que são seções pré-fabricadas de itens de tubula o, como peças flangeadas. Logo todo o sistema é montado através da fixa o dos flanges por parafusos.

Figura 11 – Spools



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

O sistema opera em regime de bomba principal e reserva, onde as duas bombas não são acionadas simultaneamente. Hora uma das bombas está operando, succionando o fluido de um dos tanques e o bombeando para o próximo reservatório, enquanto a outra bomba permanece em espera, posteriormente ocorre a inversão dessa condição de operação.

4.2 Dados da tubulação

Os dados que representam as condições do sistema de tubulação são os seguintes:

- Condições de processo:

Tabela 2 - Dados de processo do fluido e condições de temperatura e pressão.

Diâmetro da Linha	Temperatura (°C)		Pressão (kgf/cm ²)		
	Operação	Projeto	Operação	Projeto	Teste
10"	50	55	1,0	1,0	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Onde:

- Temperatura e pressão de projeto, são as condições máximas previstas, utilizadas para garantir a segurança e integridade do sistema.
- Temperatura e pressão de operação, são as condições reais de funcionamento normal do sistema.

- Pressão de teste, antes da operação inicial da linha de tubulação, com o objetivo de atestar a integridade construtiva e a estanqueidade do sistema é desempenhado um teste hidrostático, com a pressão especificada.

- Espessuras e tensões admissíveis:

Na Tabela 3 estão apresentadas as tensões admissíveis, espessuras do material e outros dados da tubulação; sendo estes valores consultados na norma ASME 31.3 de 2018.

Tabela 3 - Materiais, Espessuras e tensões admissíveis

Material	Diâmetro (in)	Esp. Parede (in)	Sobre Esp. Cor. (mm)	Eficiência da solda	Sc (kgf/cm ²)	Sh (kgf/cm ²)	Sa (kgf/cm ²)	Sy (kgf/cm ²)
ASTM A 312 TP316	10	0.365	0	100%	1406	1406	2109	2109

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

- Esforços admissíveis nos bocais:

Nas tabelas a seguir estão indicados os esforços admissíveis para os bocais, os quais constituem em uma das principais limitações na definição da configuração da tubulação. A Tabela 4 apresenta os esforços admissíveis para os bocais das bombas, esses valores foram dados pelo fabricante das bombas, atendendo aos valores estabelecidos conforme as diretrizes da norma API 560 (2007). Já na Tabela 5 estão indicados os esforços admissíveis nos tanques, cujos valores também foram dados pelo fabricante dos tanques, em conformidade com os valores estabelecidos pelas normas.

Tabela 4 - Esforços admissíveis nos bocais de bomba – pelo fornecedor

	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Mx (Nm)	My (Nm)	Mz (Nm)
Esforços	F. radial	F. tangencial	F. longitudinal	M. torsor	M. longitudinal	M. tangencial
Admissíveis	6670	4450	5340	5020	3800	2440

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Tabela 5 - Esforços admissíveis nos bocais dos tanques – pelo fornecedor

	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Mx (Nm)	My (Nm)	Mz (Nm)
Esforços	F. radial	F. tangencial	F. longitudinal	M. torsor	M. longitudinal	M. tangencial
Admissíveis	14710	3726	3726	4609	4609	4609

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

4.3 Condições climáticas da Planta

O estudo das condições climáticas é fundamental para garantir a integridade estrutural e a segurança estrutural das tubulações, visto que elas estarão expostas ao meio ambiente, é necessário a definição destas condições. Esse estudo é realizado por empresas especializadas.

As principais condições climáticas e geográficas da planta são apresentadas a seguir:

- Temperatura Máxima 35°C;
- Temperatura Mínima 20°C;
- Temperatura Média 26°C;
- Temperatura de Projeto 40°C;
- Elevação 13,45 m acima do nível do mar;
- Umidade relativa 87% (média anual);
- Precipitação pluviométrica 2.787 mm (média anual);
- Velocidade do vento 116 km/h (máxima);
- Vento predominante Noroeste.

4.4 Condições e casos de análise

A Tabela 6 – Casos de carga analisados, apresentada a seguir, resume todos os casos de carga abordados neste estudo de caso.

- HYD** Teste hidrostático, para validação do sistema – CASO 1.
- OPE** Caso de carga na condição de operação do sistema – CASO 2 / 5.
- SUS** Caso de carga na sustentação de peso do sistema – CASO 6 / 9.
- W** Peso da tubulação com fluido de operação.
- WW** Peso da tubulação com água.
- P1 / P4** Pressão de operação.
- HP** Pressão de teste hidrostático.
- T1 / T4** Temperatura de operação.

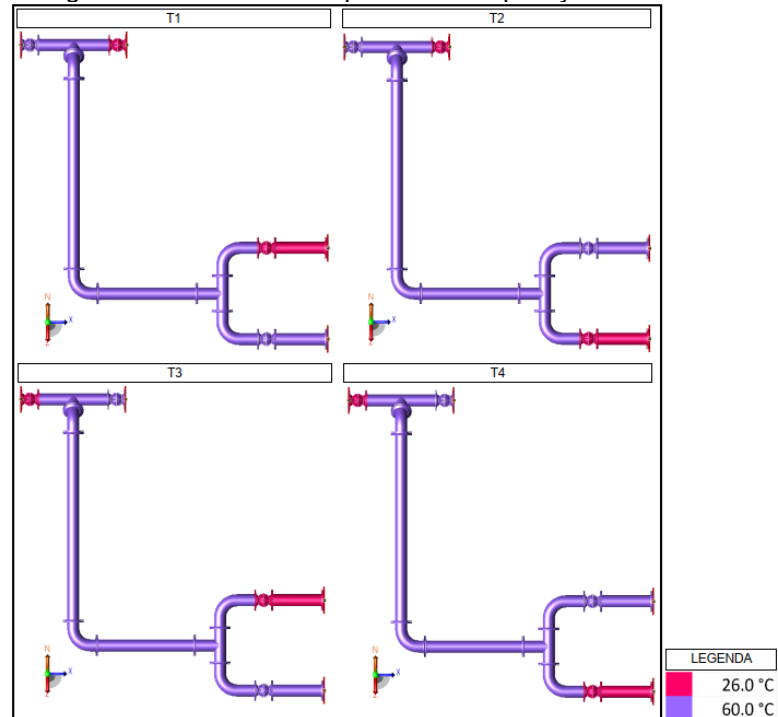
Tabela 6 - Casos de carga

Casos de Carga				
CASO 1	HYD	L1	WW + HP	Teste Hidrostático
CASO 2	OPE	L2	W + T1 + P1	Condição de Operação
CASO 3	OPE	L3	W + T2 + P2	Condição de Operação
CASO 4	OPE	L4	W + T3 + P3	Condição de Operação
CASO 5	OPE	L5	W + T4 + P4	Condição de Operação
CASO 6	SUS	L6	W + P1	Peso próprio + Pressão de Operação
CASO 7	SUS	L7	W + P2	Peso próprio + Pressão de Operação
CASO 8	SUS	L8	W + P3	Peso próprio + Pressão de Operação
CASO 9	SUS	L9	W + P4	Peso próprio + Pressão de Operação
CASO 10	EXP	L10	L2-L6 = T1	Expansão Térmica T1
CASO 11	EXP	L11	L3-L7 = T2	Expansão Térmica T2
CASO 12	EXP	L12	L4-L8 = T3	Expansão Térmica T3
CASO 13	EXP	L13	L5-L9 = T4	Expansão Térmica T4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A Figura 12 – Casos de temperatura de operação, apresenta as temperaturas (T1 a T4), atuantes no sistema, identificadas de acordo com cada trecho analisado. Ressalta-se que mesmo diante das eventuais modificações futuras no sistema, as temperaturas permanecem constantes nos pontos indicados.

Figura 12 - Casos de temperatura de operação

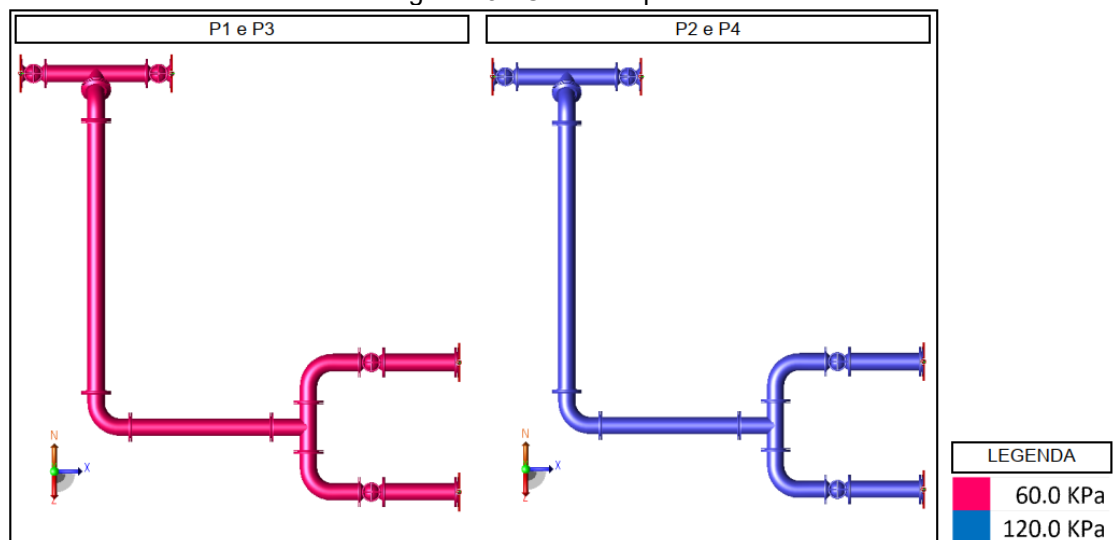


Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A

Figura 13 – Casos de pressão, apresenta as pressões (P1 a P4), atuantes no sistema, identificadas de acordo com cada trecho analisado. Ressalta-se que mesmo diante das eventuais modificações futuras no sistema, as pressões permanecem constantes nos pontos indicados.

Figura 13 - Casos de pressão



Fonte: Elaborado pelo autor, (2026).

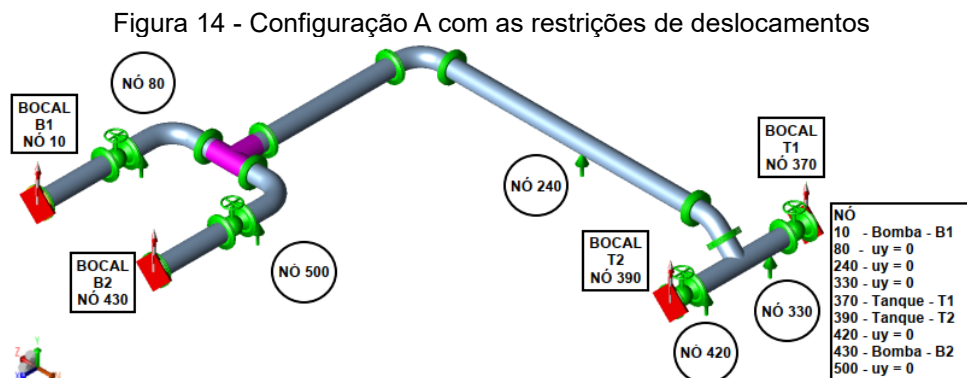
5 ANÁLISE DE FLEXIBILIDADE – AJUSTE DOS ARRANJOS

A primeira etapa para o projeto e dimensionamento das configurações a serem analisadas é a verificação dos pontos passíveis de posicionamento ou alteração das restrições do sistema. São levados em consideração o arranjo inicial fornecido pelo projetista, tal etapa é feita de modo a alterar minimamente o arranjo inicial e o manutenção dos espaços de operação de válvulas, acesso para manutenção e caminhos de segurança segundo vigente em normas e padrões industriais.

Com esse objetivo, foram propostas três configurações diferentes, sendo realizadas modificação do traçado (rota) e modificação dos suportes, de modo a minimizar os esforços atuantes para valores inferiores aos admissíveis. Os pontos que requerem maior atenção são os bocais, visto que o deslocamento da tubulação, tanto por expansão quanto por contração térmica, concentra nesses pontos grande parte dos esforços.

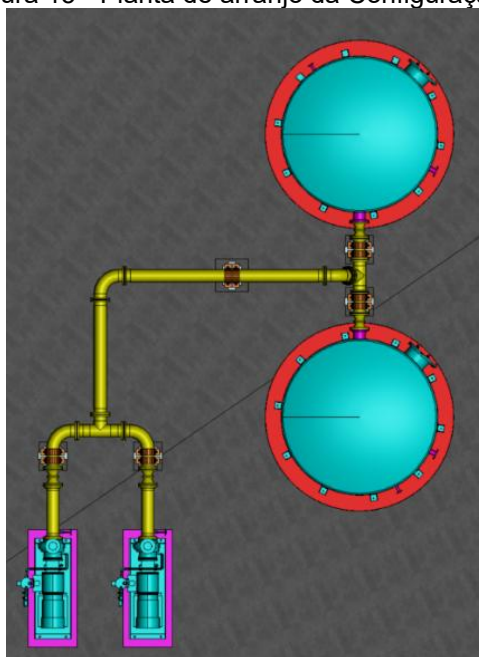
5.1 Configuração A

O modelo inicial da análise, ilustrado na Figura 14, reproduz o fluxo do processo da linha, delimitando previamente os pontos de fixação para suportes e bocais.



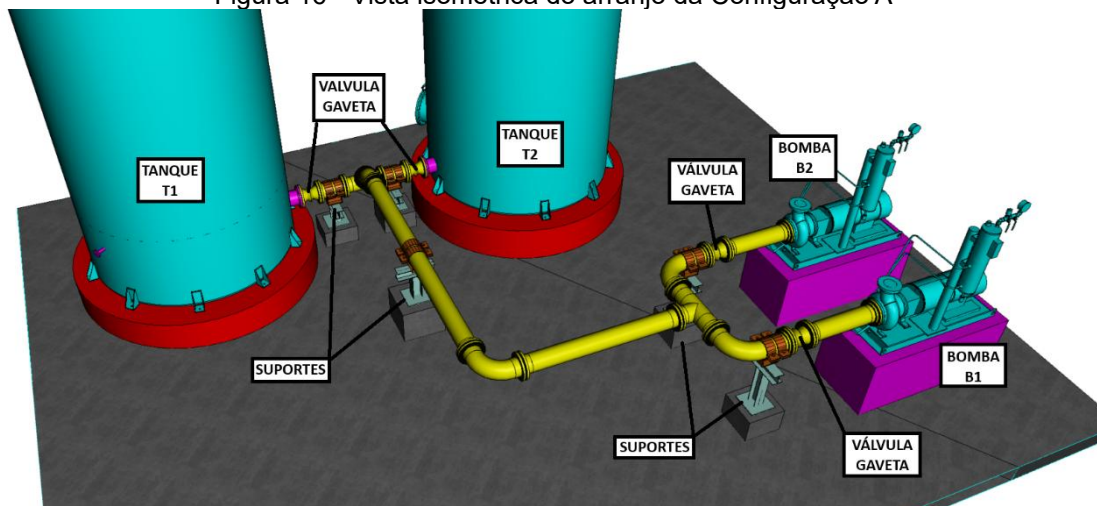
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 15 - Planta de arranjo da Configuração A



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 16 - Vista isométrica do arranjo da Configuração A



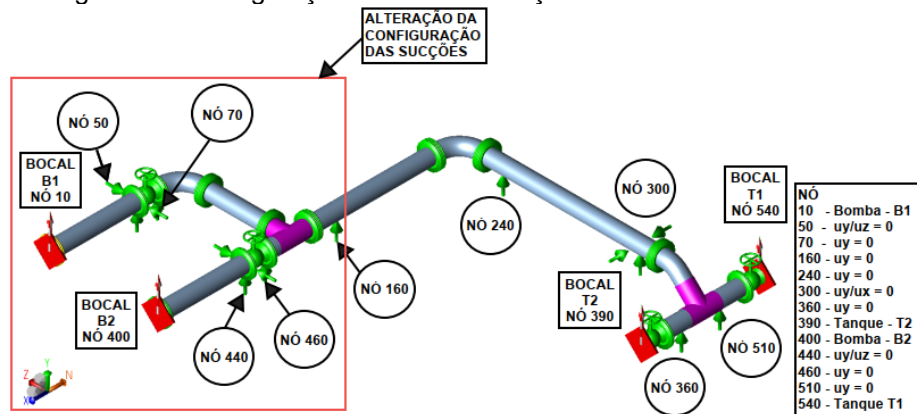
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Pela análise que será mostrada no tópico 9 RESULTADOS, constatou-se que o traçado inicial apresentou em alguns casos esforços superiores aos admissíveis no eixo X (FX), assim como os momentos de rotação do eixo Y (MY). Observando se a necessidade de alguma alteração no arranjo com o intuito de promover a redução dessas tensões, que será evidenciada na Configuração B.

5.2 Configuração B

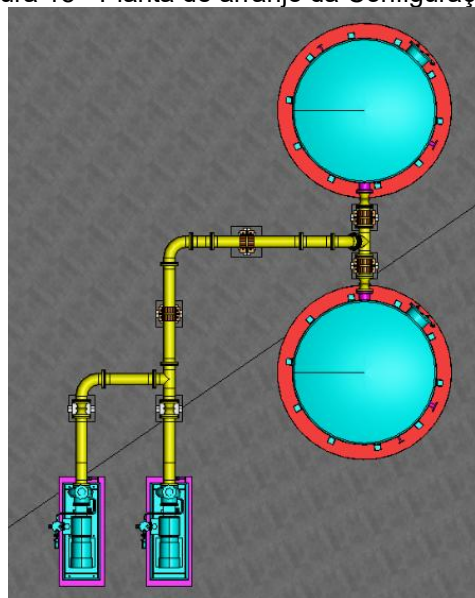
A configuração B, ilustrada na Figura 17, teve como base o traçado proveniente da configuração A. Nessa etapa, foi realizada uma alteração na configuração do arranjo da sucção das bombas, bocais B1 e B2, com a adição de uma espécie de alavanca, visando uma redução dos esforços atuantes no eixo X (FX) nesses pontos a fim de minimizar a propagação de esforços para os bocais das bombas.

Figura 17 - Configuração B com as restrições de deslocamentos



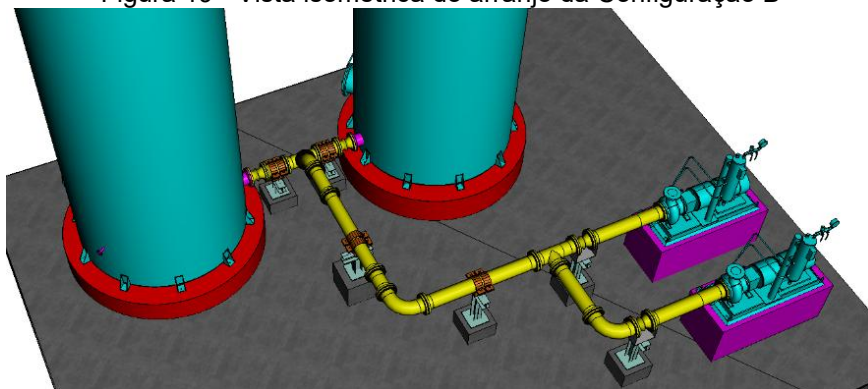
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 18 - Planta de arranjo da Configuração B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 19 - Vista isométrica do arranjo da Configuração B



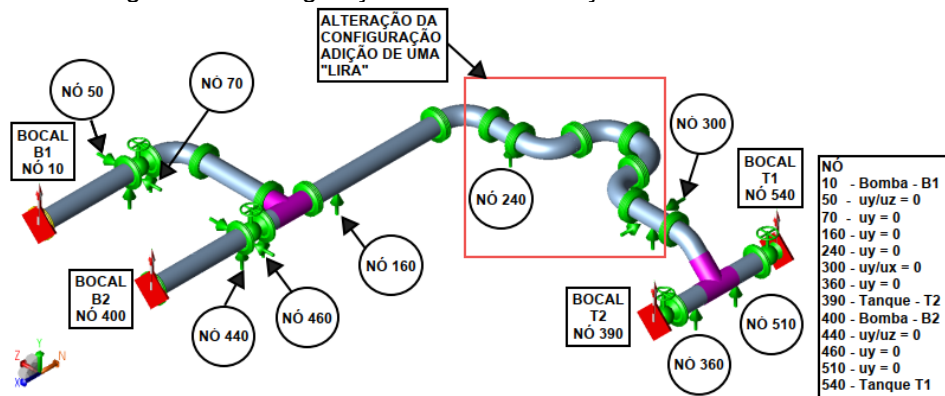
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Pela análise que será mostrada no tópico 9 RESULTADOS, constatou-se que tal alteração levou a uma certa redução dos esforços no eixo X (FX), porém vieram a promover um aumento acima das tensões admissíveis em alguns casos analisados, os esforços no eixo Z (FZ) assim como os momentos de rotação do eixo Y (MY). Comprovando-se a necessidade de um novo artifício para absorver parte destes esforços, que será abordada na Configuração C.

5.3 Configuração C

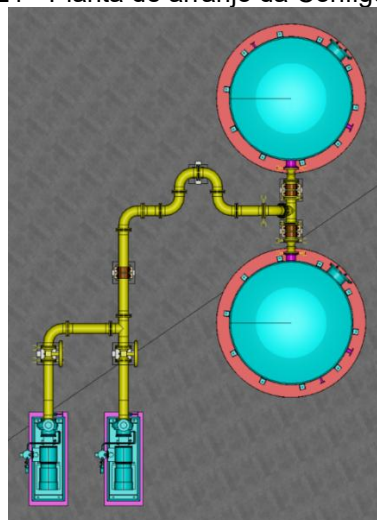
A configuração C, ilustrada na Figura 20, teve como base o traçado proveniente da configuração B. Nesta configuração, foi realizada uma alteração em um dos trechos retos com a adição de curvas de expansão do tipo “lira”, com o intuito de absorver parte do deslocamento linear com o intuito de reduzir os deslocamentos que levam esforços as bocais das bombas, além do desenvolvimento de dois suportes especiais para a sustentação das válvulas das bombas, localizadas nos nós 50 – 70 e 440 – 460. Este suporte especial está representado no **ANEXO III – Suporte especial para sustentação das válvulas**.

Figura 20 - Configuração C com as restrições de deslocamentos



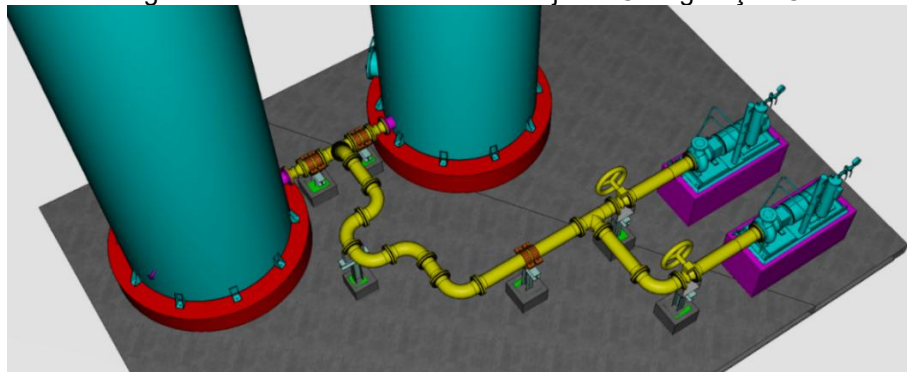
Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 21 - Planta de arranjo da Configuração C



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Figura 22 - Vista isométrica do arranjo da Configuração C



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Pela análise que será mostrada no tópico 7 RESULTADOS, constatou-se as alterações propostas se mostraram satisfatórias, cumprindo bem com o papel de reduzir parte dos esforços solicitados.

6 DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES DE FLEXIBILIDADE

O desenvolvimento das soluções de flexibilidade para o sistema de tubulação analisado foi conduzido de forma iterativa, buscando estabelecer um equilíbrio entre as boas práticas de *layout* e os requisitos de integridade mecânica do sistema. Diferentemente de uma abordagem puramente teórica, este processo envolveu a avaliação contínua de alternativas de arranjo, com base nos resultados obtidos nas simulações e na resposta estrutural da tubulação.

6.1 Critérios de avaliação adotados

A análise das configurações propostas foi fundamentada em critérios técnicos previamente definidos, com o objetivo de garantir a confiabilidade dos resultados e a conformidade com normas e especificações aplicáveis. Dentre os principais critérios utilizados, destacam-se:

- Atendimento aos limites de tensões admissíveis estabelecidos pela norma ASME B31.3;
- Verificação das cargas atuantes nos bocais dos equipamentos, conforme valores fornecidos pelos fabricantes;
- Avaliação dos deslocamentos globais da tubulação, evitando movimentações excessivas que pudessem comprometer a integridade do sistema;
- Análise das reações nos suportes, assegurando condições adequadas de sustentação e estabilidade.

Esses critérios foram aplicados conjuntamente, de modo que nenhuma configuração fosse considerada viável apenas pelo atendimento isolado de um requisito. Dessa forma, buscou-se uma solução que apresentasse desempenho global satisfatório.

6.2 Estratégias de modificação do layout

A partir da configuração inicial fornecida, foram adotadas diferentes estratégias de modificação com o objetivo de reduzir os esforços mecânicos atuantes na tubulação. Essas estratégias envolveram tanto alterações na geometria do traçado quanto ajustes no sistema de suportação.

Entre as principais intervenções realizadas, destacam-se:

- Alteração do trajeto da tubulação, introduzindo mudanças de direção para aumentar a flexibilidade do sistema;
- Criação de trechos com comportamento similar a alavancas geométricas, com o intuito de redistribuir esforços;
- Inserção de curvas de expansão (liras), visando absorver deformações térmicas;
- Revisão e desenvolvimento de suportes, adequando suas posições e funções no sistema.

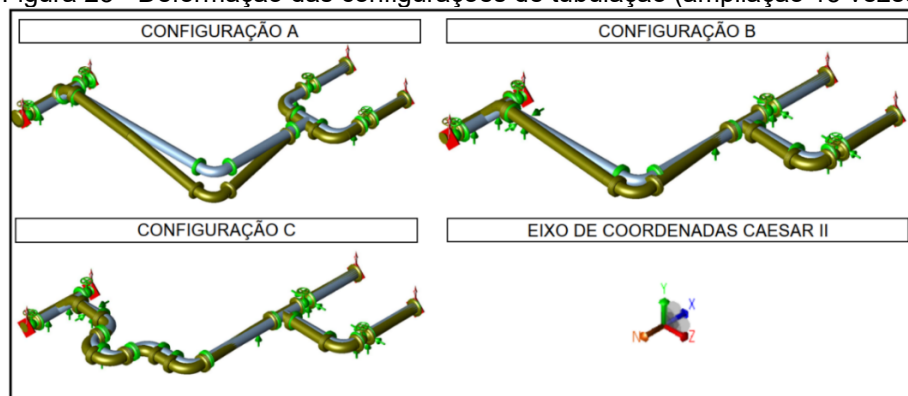
Essas modificações foram realizadas de forma criteriosa, evitando impactos negativos na operação, acessibilidade e manutenção do sistema.

7 RESULTADOS

7.1 Observação dos deslocamentos

O estudo das deformações foi conduzido para garantir que não houvesse movimentações ou angulações excessivas junto aos bocais, prevenindo, assim, a ocorrência de solicitações mecânicas severas. A definição dos casos de carga encontra-se na Tabela 6 - Casos de carga – e o comportamento da deformação da tubulação pode ser visto na Figura 23.

Figura 23 - Deformação das configurações de tubulação (ampliação 15 vezes)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Observando a Figura 23 é possível observar as mudanças realizadas nos arranjos e seus respectivos deslocamentos, representada pela cor dourada. A figura evidencia a evolução das configurações e orienta as modificações necessárias com o intuito de reduzir estes esforços. As tabelas a seguir apresentam os valores dos esforços obtidos em cada uma das configurações para os diferentes bocais, fazendo-se as seguintes observações:

a) Na configuração A, ocorrem deslocamentos excessivos ao longo de toda a tubulação, gerando esforços elevados nos bocais B1 e B2.

b) Na configuração B, com a alteração do arranjo de sucção das bombas, observa-se uma redução dos deslocamentos ao longo da tubulação, porém, ainda sim os esforços continuaram elevados nos bocais B1 e B2.

c) Na configuração C, que consiste em uma alteração da configuração B com a adição de uma lira, os deslocamentos da linha reduziram e os esforços

dos bocais diminuíram, tendo uma carga ainda um pouco elevada apenas no bocal B1.

Nas tabelas a seguir estão representados os esforços obtidos nos bocais pelas diferentes configurações de tubulação:

Tabela 7 - Esforços por configurações no bocal B1

ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO A							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO B							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO C								
Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)				
10 / B1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	10 / B1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	10 / B1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ		
Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440	Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440	Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440		
1 (HYD)		102	-462	35	216	-51	114	1 (HYD)		-13	-1053	-7	190	12	-256		-2	-1661	-1	196	2	-626
2 (OPE)		-8964	-274	-4582	199	5999	213	2 (OPE)		-7764	-1073	-5898	206	9521	-261		-5641	-1694	-4624	192	7362	-639
3 (OPE)		51	-329	-3096	205	7425	185	3 (OPE)		-7764	-1073	-5898	206	9521	-261		-5641	-1694	-4624	192	7362	-639
4 (OPE)		-8895	-275	-4543	199	5939	213	4 (OPE)		1434	-1073	-2261	197	5936	-261		2217	-1696	-1783	190	5125	-640
5 (OPE)		119	-330	-3057	205	7365	185	5 (OPE)		1434	-1073	-2261	197	5936	-261		2217	-1696	-1783	190	5125	-640
6 (SUS)		104	-448	35	219	-52	125	6 (SUS)		-13	-1073	-7	193	12	-261		-2	-1685	-1	200	2	-634
7 (SUS)		104	-448	35	219	-52	125	7 (SUS)		-13	-1073	-7	193	12	-261		-2	-1685	-1	200	2	-634
8 (SUS)		104	-448	35	219	-52	125	8 (SUS)		-13	-1073	-7	193	12	-261		-2	-1685	-1	200	2	-634
9 (SUS)		104	-448	35	219	-52	125	9 (SUS)		-13	-1073	-7	193	12	-261		-2	-1685	-1	200	2	-634
Máxima		-8964	-462	-4582	219	7425	213	Máxima		-7764	-1073	-5898	206	9521	-261		-5641	-1696	-4624	200	7362	-640

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Tabela 8 - Esforços por configurações no bocal B2

ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO A							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO B							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO C								
Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)				
430 / B2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	400 / B2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	400 / B2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ		
Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440	Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440	Admissível	6670	4450	5340	5020	3800	2440		
1 (HYD)		-70	-914	27	-133	-45	-115	1 (HYD)		9	-1056	-2	-176	8	-257		3	-1057	0	-191	1	-258
2 (OPE)		7547	-792	151	-105	-2775	-49	2 (OPE)		6280	-1077	923	-214	-1470	-264		4522	-1076	1554	-172	-3046	-263
3 (OPE)		-1152	-831	1565	-113	-1284	-69	3 (OPE)		6280	-1077	923	-214	-1470	-264		4522	-1076	1554	-172	-3046	-263
4 (OPE)		7550	-792	174	-105	-2821	-49	4 (OPE)		-2821	-1076	603	-190	2879	-263		-3389	-1076	865	-167	2268	-263
5 (OPE)		-1150	-831	1588	-114	-1330	-69	5 (OPE)		-2821	-1076	603	-190	2879	-263		-3389	-1076	865	-167	2268	-263
6 (SUS)		-72	-908	28	-136	-46	-107	6 (SUS)		9	-1076	-2	-179	8	-263		3	-1077	0	-195	1	-263
7 (SUS)		-72	-908	28	-136	-46	-107	7 (SUS)		9	-1076	-2	-179	8	-263		3	-1077	0	-195	1	-263
8 (SUS)		-72	-908	28	-136	-46	-107	8 (SUS)		9	-1076	-2	-179	8	-263		3	-1077	0	-195	1	-263
9 (SUS)		-72	-908	28	-136	-46	-107	9 (SUS)		9	-1076	-2	-179	8	-263		3	-1077	0	-195	1	-263
Máxima		7550	-914	1588	-136	-2821	-115	Máxima		6280	-1077	923	-214	2879	-264		4522	-1077	1554	-195	-3046	-263

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Tabela 9 - Esforços por configurações no bocal T1

ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO A							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO B							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO C								
Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)				
370 / T1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	540 / T1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	540 / T1	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ		
Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609	Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609	Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609		
1 (HYD)		16	-248	70	-32	1	14	1 (HYD)		2	-304	9	-4	0	0		0	-307	-1	-1	0	
2 (OPE)		-3446	-234	-3337	-63	-14	14	2 (OPE)		2677	-291	3598	17	-17	-17		2495	-289	3096	-31	-39	-15
3 (OPE)		-3289	-242	-1753	-31	-23	14	3 (OPE)		2677	-291	3598	17	-17	-17		2495	-289	3096	-31	-39	-15
4 (OPE)		-3407	-234	-3217	-63	-12	14	4 (OPE)		2629	-294	2107	-33	-35	-35		2521	-296	1816	-48	-40	-15
5 (OPE)		-3249	-242	-1633	-30	-20	14	5 (OPE)		2629	-294	2107	-33	-35	-35		2521	-296	1816	-48	-40	-15
6 (SUS)		16	-249	72	-32	1	14	6 (SUS)		2	-305	9	-4	0	0		0	-307	-1	-1	0	
7 (SUS)		16	-249	72	-32	1	14	7 (SUS)		2	-305	9	-4	0	0		0	-307	-1	-1	0	
8 (SUS)		16	-249	72	-32	1	14	8 (SUS)		2	-305	9	-4	0	0		0	-307	-1	-1	0	
9 (SUS)		16	-249	72	-32	1	14	9 (SUS)		2	-305	9	-4	0	0		0	-307	-1	-1	0	
Máxima		-3446	-249	-3337	-63	-23	14	Máxima		2677	-305	3598	-33	-35	-35		2521	-307	3096	-48	-40	-16

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

Tabela 10 - Esforços por configurações no bocal T2

ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO A							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO B							ESFORÇOS NOS BOCAIS - CONFIGURAÇÃO C						
Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)			Nó / Bocal	Forças (N)			Momentos (N.m)		
390 / T2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	390 / T2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	390 / T2	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609	Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609	Admissível	14710	3726	5020	4609	4609	4609
1 (HYD)	16	-247	-8	-32	1	-14	1 (HYD)	-2	-305	-1	4	0	-15	1 (HYD)	0	-306	-2	1	0	-15
2 (OPE)	2030	-234	-1094	-63	-52	-14	2 (OPE)	1193	-282	-1377	-17	-54	-14	2 (OPE)	1376	-288	27	31	-61	-15
3 (OPE)	2187	-242	223	-31	-36	-14	3 (OPE)	1193	-282	-1377	-17	-54	-14	3 (OPE)	1376	-288	27	31	-61	-15
4 (OPE)	2061	-234	-1153	-63	-49	-14	4 (OPE)	1242	-287	450	33	-47	-15	4 (OPE)	1349	-295	897	48	-47	-15
5 (OPE)	2219	-243	165	-30	-33	-14	5 (OPE)	1242	-287	450	33	-47	-15	5 (OPE)	1349	-295	897	48	-47	-15
6 (SUS)	16	-248	-8	-32	1	-14	6 (SUS)	-2	-305	-1	4	0	-15	6 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16
7 (SUS)	16	-248	-8	-32	1	-14	7 (SUS)	-2	-305	-1	4	0	-15	7 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16
8 (SUS)	16	-248	-8	-32	1	-14	8 (SUS)	-2	-305	-1	4	0	-15	8 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16
9 (SUS)	16	-248	-8	-32	1	-14	9 (SUS)	-2	-305	-1	4	0	-15	9 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16
Máxima	2219	-248	-1153	-63	-52	-14	Máxima	1242	-305	-1377	33	-54	-15	Máxima	1376	-307	897	48	-61	-16

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A análise das tabelas evidencia a redução progressiva dos esforços ao longo da evolução das configurações A, B e C, sendo a configuração C selecionada, após uma análise de risco por parte do setor de engenharia e reuniões com o fornecedor das bombas, que aprovaram e certificaram os esforços admitidos. Para uma melhor visualização do arranjo selecionado, foi anexado ao final deste trabalho, no **ANEXO II – Isométrico de flexibilidade**, os isométricos de flexibilidade da tubulação, com indicações precisas das medidas de distância entre suportes, comprimentos dos trechos de tubos e conexões.

7.2 Tensões Máximas Atuantes

As tensões máximas atuantes para a configuração C são visualizadas na Tabela 11, que as compara com os valores admissíveis para os casos estudados.

Tabela 11 - Tensões máximas atuantes

Caso de Carga	Nó	Tensão Máxima Atuante (kPa)	Tensão Admissível (kPa)	Percentual do Admissível (%)
Caso 1 (HYD)	350	7466,5	206842,7	3,6
Caso 6 (SUS)	350	8358,9	137895,1	6,1
Caso 7 (SUS)	350	8877,6	137895,1	6,4
Caso 8 (SUS)	350	8358,9	137895,1	6,1
Caso 9 (SUS)	350	8877,6	137895,1	6,4
Caso 10 (EXP)	470	35620,6	342320,8	10,4
Caso 11 (EXP)	470	35620,6	342320,8	10,4
Caso 12 (EXP)	470	19979,1	342989,4	5,8
Caso 13 (EXP)	470	19979,1	342989,4	5,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A partir desta tabela, é possível determinar os valores máximos das tensões primárias e secundárias atuantes no sistema:

- Máxima tensão primária: 8877,6 kPa (CASE 7 e CASE 9).
- Máxima tensão secundária: 35620,6 (CASE 10 e CASE 11).

7.3 Cargas nos Suportes

O **ANEXO IV – Resultados da simulação no Caesar II**, no tópico 4, apresenta o compilado das cargas nos bocais para os casos 1 a 9, extraído do *software*. Estes dados fundamentam a seleção dos dispositivos de sustentação, restrição e a verificação da estabilidade estrutural.

Adicionalmente, deve-se analisar a ocorrência de perda de apoio (*liftoff*), identificada no relatório pela presença de nós com força vertical (eixo Z) nula. Caso encontrados suportes com estas características, após analisados os mesmos podem ser retirados dos sistemas. A Tabela 12 mostra os esforços máximos atuantes nos suportes. Para o relatório completo das cargas atuantes nos suportes para os casos 1 a 9, ver o **ANEXO IV – Resultados da simulação no Caesar II**.

Tabela 12 - Esforços máximos nos suportes
ESFORÇOS MÁXIMOS NOS SUPORTES - CONFIGURAÇÃO C

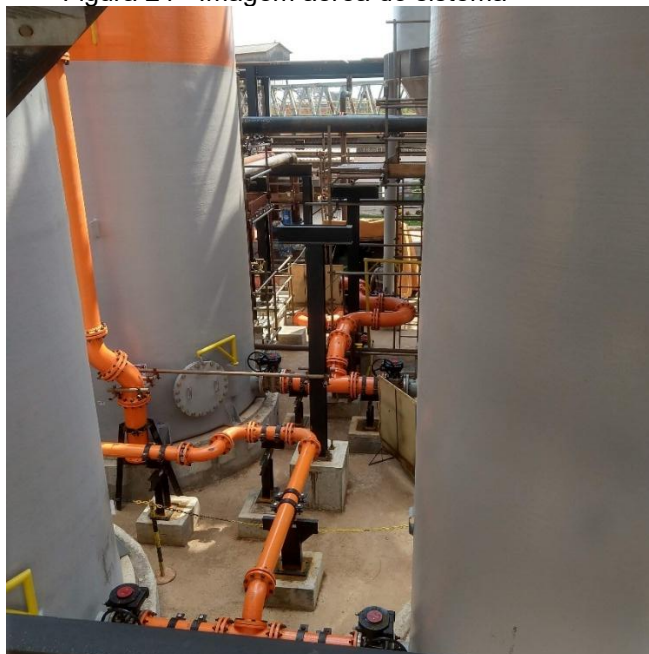
Nó	Forças (N)			Momentos (N.m)		
	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
10	5640	-1073	4624	-202	7362	261
50	0	-2378	0	0	0	0
70	0	-4299	0	0	0	0
160	0	-3914	0	0	0	0
240	0	-4432	0	0	0	0
274	0	-3002	0	0	0	0
300	0	-3086	0	0	0	0
360	0	-5487	0	0	0	0
390	1376	-307	897	48	-61	-16
400	-4521	-1077	-1554	204	-3046	263
440	0	-3110	0	0	0	0
460	0	-3076	0	0	0	0
510	0	-5655	0	0	0	0
540	-2521	-307	-3096	48	-40	16

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

8 CONSTRUÇÃO DA LINHA DE TUBULAÇÃO

O sistema analisado no presente trabalho, foi construído em 2019, atualmente se encontra em operação por cerca de 7 anos. Onde o cliente que opera a linha relatou sucesso na operação do sistema.

Figura 24 - Imagem aérea do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

9 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram realizadas análises de flexibilidade em um sistema de tubulação, considerando três diferentes configurações, com o objetivo de minimizar os esforços atuantes e garantir a conformidade com os limites estabelecidos pelas normas vigentes. Dentre as alternativas avaliadas, a Configuração C destacou-se por apresentar níveis de tensão adequados e por assegurar a aprovação das cargas nos bocais, sendo devidamente validada pelos fabricantes dos equipamentos. Tal resultado é reforçado pelo fato de o sistema estar em operação contínua e satisfatória há aproximadamente sete anos, evidenciando a eficácia da solução adotada.

Cabe ressaltar que a análise de flexibilidade atua, sobretudo, como uma etapa de verificação e validação estrutural, e não como ferramenta primária de dimensionamento. Nesse sentido, o traçado da tubulação deve ser previamente concebido e avaliado de forma crítica por projetistas experientes, permitindo a identificação e eliminação de trechos excessivamente rígidos ainda na fase inicial do projeto. Essa abordagem é essencial para reduzir retrabalhos, uma vez que modificações pontuais podem gerar impactos significativos em todo o sistema, exigindo ajustes em linhas adjacentes, suportes e, em situações mais extremas, até mesmo na disposição de equipamentos. Como suporte a essa etapa, a aplicação de *softwares* de análise por elementos finitos, como o Caesar II, consolida-se como uma solução prática e eficiente no contexto industrial, principalmente se for levado em conta os prazos solicitados para as realizações e entregas das análises. Conciliando agilidade de projeto com a robustez analítica necessária para garantir a integridade do sistema.

Nesse contexto, o principal diferencial deste estudo reside na evidenciação do inevitável conflito técnico entre as boas práticas de arranjo de tubulação (*layout*) e os requisitos de flexibilidade. Sob a ótica estrita das boas práticas de arranjo — que preconizam caminhos mais curtos, menor perda de carga, economia de materiais e otimização do espaço —, a Configuração C representou uma "piora" geométrica em relação a um traçado mais direto. Contudo, essa complexidade adicional foi o mecanismo essencial para absorver os deslocamentos térmicos e melhorar o sistema do ponto de vista estrutural.

A solução final, portanto, não representa um extremo absoluto. Se o foco fosse exclusivamente a flexibilidade mecânica, o *layout* poderia ter recebido expansões e desvios ainda maiores; todavia, isso o tornaria inviável do ponto de vista de custo, operabilidade e ocupação espacial. Fica claro, assim, que o arranjo definitivo é o resultado de um consenso indispensável entre o projetista de tubulação e o engenheiro responsável pela análise de tensões. Mais do que um simples laudo de aprovação ou reprovação, a análise de tensões demonstrou ser uma ferramenta de negociação técnica, na qual renuncia-se à simplicidade visual do traçado em prol da excelência estrutural, garantindo a viabilidade, a segurança e a longevidade do sistema.

10 REFERÊNCIAS

TELLES, Pedro. **Tubulações Industriais - Cálculo**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Editora: Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA. 1999.

TELLES, Pedro. **Tubulações Industriais: materiais, projeto e desenho**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Editora: Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA. 1987.

FRANÇA FILHO, J. M. **Manual para análise de tensões de tubulações industriais: flexibilidade**. Salvador, Ba: JMF Engenharia, 2013.

QUADRELLI, J. C. **Curso de análise de tensões e flexibilidade das tubulações: Notas de Au**. São Paulo: FDTE, 1987.

ANSI. **American National Standard for Welded and Seamless Wrought Steel Pipe**: B36.10. Washington DC: American National Standards Institute, 2017.

ASME. **Power Piping ASME code for pressure pipe**: B 31.1. New York, USA: American Society of Mechanical Engineers, 2020.

ASME. **Process Piping: ASME code for pressure pipe**, B 31.3. New York, USA: American Society of Mechanical Engineers, 2018.

KELLOGG, M. W. **Design of Piping Systems**. New York, USA: John Wiley & Sons, 1956.

PENG, L. C.; PENG, T. **Pipe Stress Engineering**. Houston: ASME Press, 2009.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

PETROBRAS. **N-1673: critérios de cálculo mecânico de tubulação**. Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S.A., 2006 (Rev. E, out. 2006).

PETROBRAS. **N-57: projeto mecânico de tubulações industriais**. Rio de Janeiro: Petróleo Brasileiro S.A., 2017.

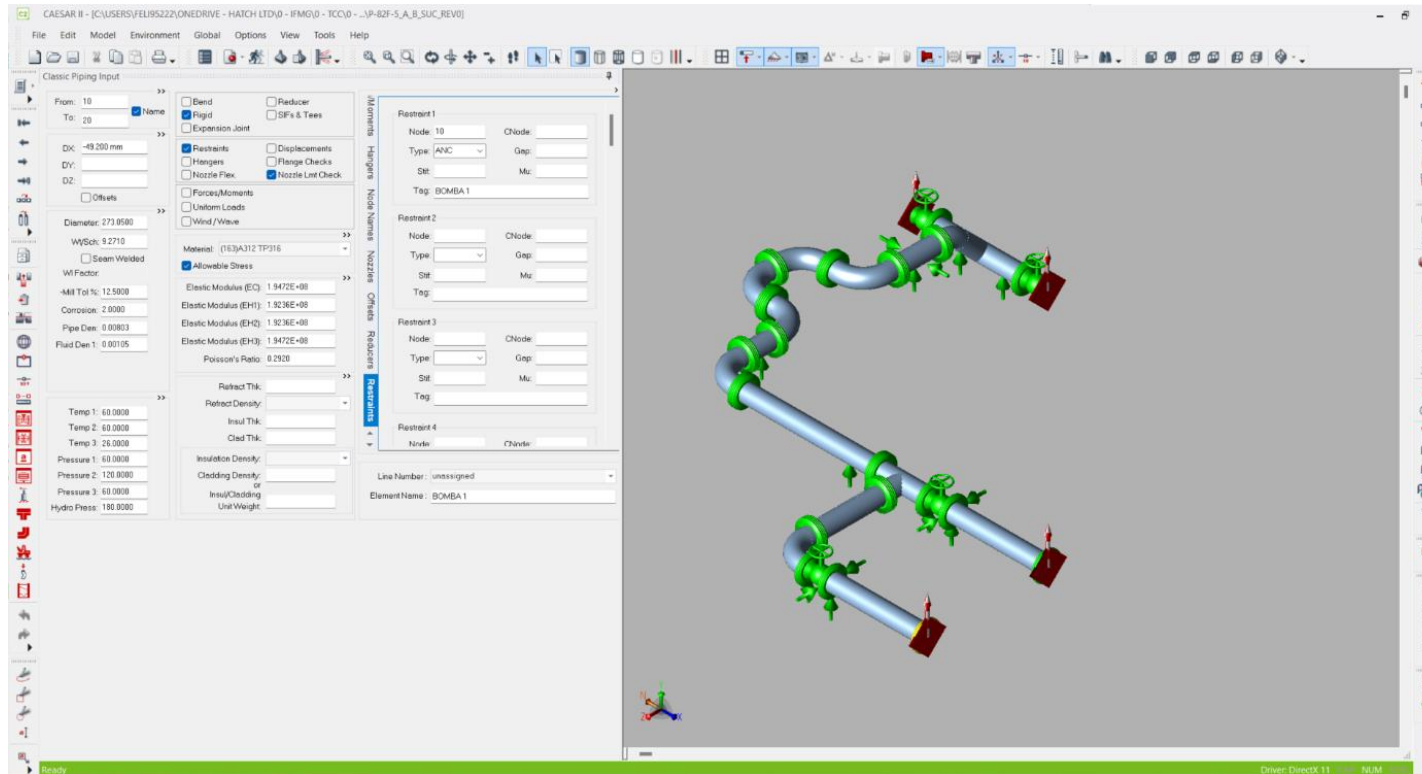
LU, H. *et al.* Stress Analysis of LNG Storage Tank Outlet Pipes and Flanges. **Energies**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 877, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11040877> Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/4/877> Acesso em: 23 fev. 2025.

HEXAGON. **CAESAR II**. Disponível em: <https://hexagon.com/pt/products/caesar-ii>. Acesso em: 23 fev. 2025.

TAMBE, P. N.; DHANDE, K. K.; JAMADAR, N. I. **Flexibility and stress analysis of piping system using CAESAR II: case study.** International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), [S. l.], v. 3, n. 6, p. 370-374, 2014. Disponível em: <https://www.ijert.org/research/flexibility-and-stress-analysis-of-piping-system-using-caesar-ii-case-study-IJERTV3IS060582.pdf>
Acesso em: 23 fev. 2025.

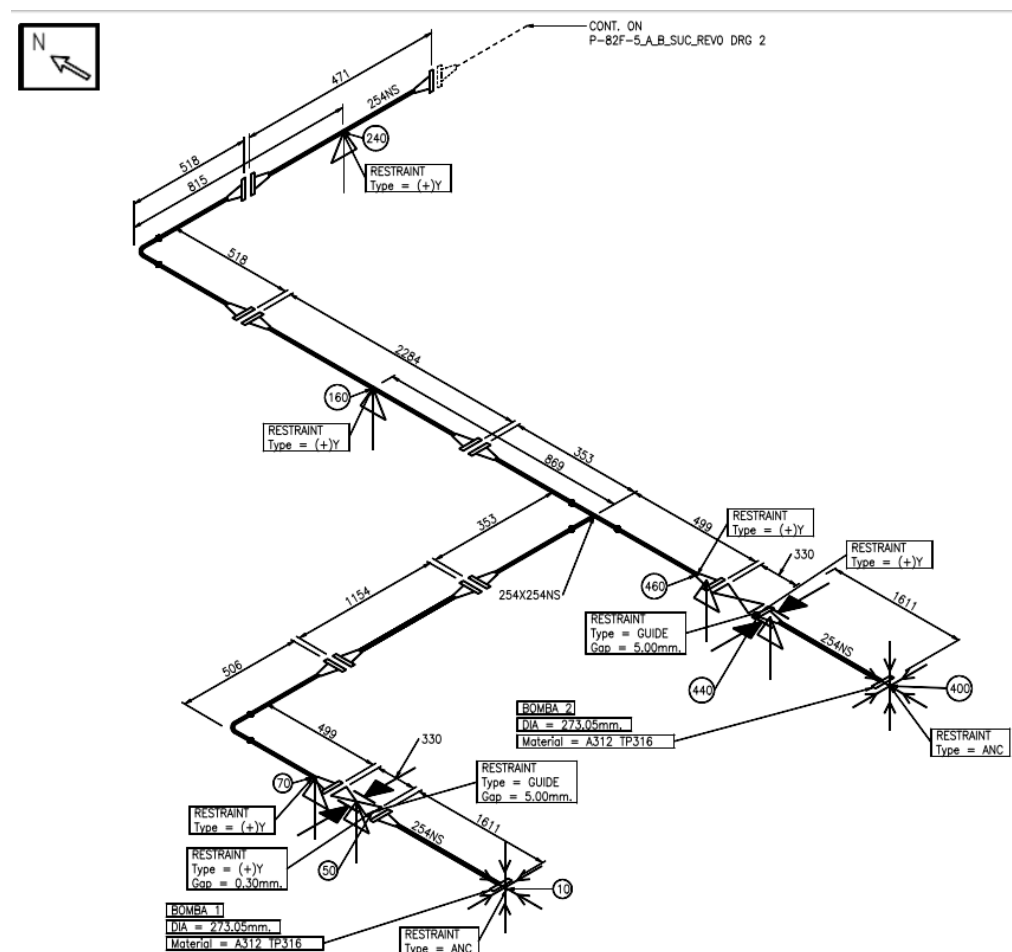
11 ANEXOS

11.1 ANEXO I – Interface de input do Caesar II



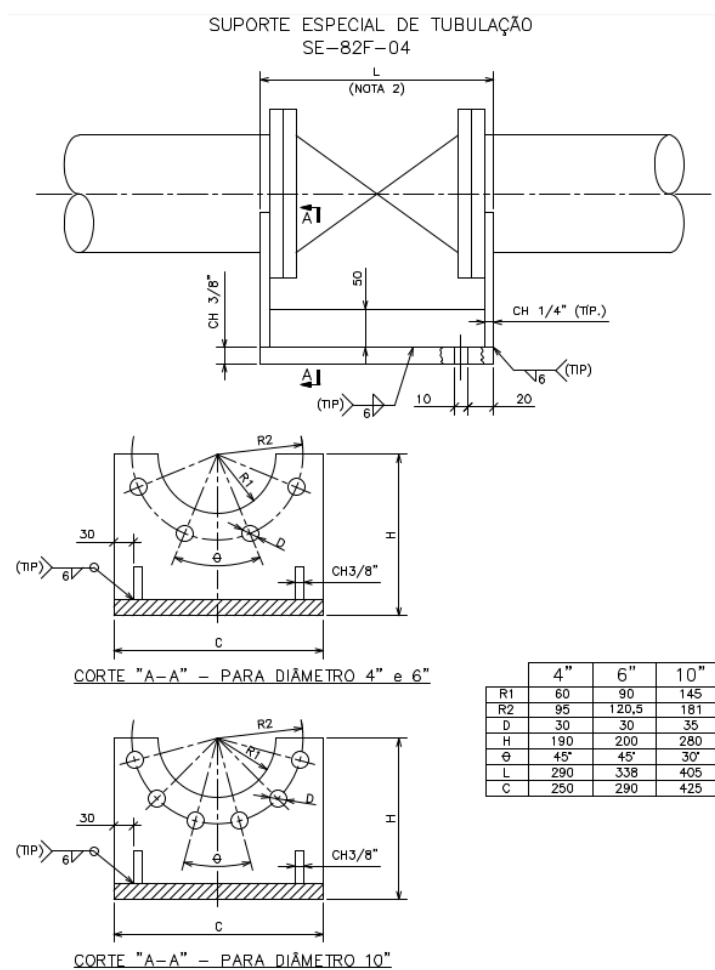
Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.

11.2 ANEXO II – Isométrico de flexibilidade



Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.

11.3 ANEXO III – Suporte especial para sustentação das válvulas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

11.4 ANEXO IV – Resultados da simulação no Caesar II

1. Cargas nos bocais

Node		fa N.	fb N.	fc N.	Forces Check	ma N.m.	mb N.m.
10	Absolute Method						
	Limits	6670	4450	5340		5020	3800
	1 (HYD)	-2	-1661	-1	0.373	196	2
	2 (OPE)	-5641	-1694	-4624	0.866	192	7362
	3 (OPE)	-5641	-1694	-4624	0.866	192	7362
	4 (OPE)	2217	-1696	-1783	0.381	190	5125
	5 (OPE)	2217	-1696	-1783	0.381	190	5125
	6 (SUS)	-2	-1685	-1	0.379	200	2
	7 (SUS)	-2	-1685	-1	0.379	200	2
	8 (SUS)	-2	-1685	-1	0.379	200	2
	9 (SUS)	-2	-1685	-1	0.379	200	2
390	Absolute Method						
	Limits	14710	3726	5020		4609	4609
	1 (HYD)	0	-306	-2	0.082	1	0
	2 (OPE)	1376	-288	27	0.094	31	-61
	3 (OPE)	1376	-288	27	0.094	31	-61
	4 (OPE)	1349	-295	897	0.179	48	-47
	5 (OPE)	1349	-295	897	0.179	48	-47
	6 (SUS)	0	-307	-2	0.082	1	0
	7 (SUS)	0	-307	-2	0.082	1	0
	8 (SUS)	0	-307	-2	0.082	1	0
	9 (SUS)	0	-307	-2	0.082	1	0
400	Absolute Method						
	Limits	6670	4450	5340		5020	3800
	1 (HYD)	3	-1057	0	0.237	-191	1
	2 (OPE)	4522	-1076	1554	0.678	-172	-3046
	3 (OPE)	4522	-1076	1554	0.678	-172	-3046
	4 (OPE)	-3389	-1076	865	0.508	-167	2268
	5 (OPE)	-3389	-1076	865	0.508	-167	2268
	6 (SUS)	3	-1077	0	0.242	-195	1
	7 (SUS)	3	-1077	0	0.242	-195	1
	8 (SUS)	3	-1077	0	0.242	-195	1
	9 (SUS)	3	-1077	0	0.242	-195	1
540	Absolute Method						
	Limits	14710	3726	5020		4609	4609
	1 (HYD)	-0	-307	-1	0.082	-1	0
	2 (OPE)	2495	-289	3096	0.617	-31	-39
	3 (OPE)	2495	-289	3096	0.617	-31	-39
	4 (OPE)	2521	-296	1816	0.362	-48	-40
	5 (OPE)	2521	-296	1816	0.362	-48	-40
	6 (SUS)	-0	-307	-1	0.082	-1	0
	7 (SUS)	-0	-307	-1	0.082	-1	0
	8 (SUS)	-0	-307	-1	0.082	-1	0
	9 (SUS)	-0	-307	-1	0.082	-1	0

Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.

2. Máximas tensões atuantes

```

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP
CASE 2 (OPE) W+T1+P1
CASE 3 (OPE) W+T2+P2
CASE 4 (OPE) W+T3+P3

Piping Code: B31.3-2018 = B31.3 -2018, Aug 30, 2019

CODE STRESS CHECK PASSED      : LOADCASE 1 (HYD) WW+HP

Highest Stresses: (   KPa   ) LOADCASE 1 (HYD) WW+HP
Ratio (%):              3.6      @Node   350
Code Stress:            7466.5    Allowable Stress:    206842.7
Axial Stress:           1213.0    @Node   340
Bending Stress:         8366.2    @Node   350
Torsion Stress:          259.6    @Node   269
Hoop Stress:            2470.7    @Node   30
Max Stress Intensity:    9558.2    @Node   350

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1

Highest Stresses: (   KPa   ) LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1
Ratio (%):              0.0      @Node   470
OPE Stress:            35558.8    Allowable Stress:          0.0
Axial Stress:           985.8     @Node   420
Bending Stress:        35306.3    @Node   470
Torsion Stress:         2492.4    @Node   340
Hoop Stress:            823.6     @Node   30
Max Stress Intensity:   44734.7    @Node   470

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 3 (OPE) W+T2+P2

Highest Stresses: (   KPa   ) LOADCASE 3 (OPE) W+T2+P2
Ratio (%):              0.0      @Node   470
OPE Stress:            35956.1    Allowable Stress:          0.0
Axial Stress:           1383.1    @Node   420
Bending Stress:        35306.3    @Node   470
Torsion Stress:         2492.4    @Node   340
Hoop Stress:            1647.1    @Node   30
Max Stress Intensity:   45253.4    @Node   470

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 4 (OPE) W+T3+P3

Highest Stresses: (   KPa   ) LOADCASE 4 (OPE) W+T3+P3
Ratio (%):              0.0      @Node   470
OPE Stress:            18950.4    Allowable Stress:          0.0
Axial Stress:           685.9     @Node   30
Bending Stress:        18903.5    @Node   470
Torsion Stress:         2143.4    @Node   340
Hoop Stress:            823.6     @Node   30
Max Stress Intensity:   24655.3    @Node   470

NO CODE STRESS CHECK PROCESSED: LOADCASE 5 (OPE) W+T4+P4

Highest Stresses: (   KPa   ) LOADCASE 5 (OPE) W+T4+P4
Ratio (%):              0.0      @Node   470
OPE Stress:            19250.0    Allowable Stress:          0.0
Axial Stress:           1083.2    @Node   30
Bending Stress:        18903.5    @Node   470
Torsion Stress:         2143.4    @Node   340
Hoop Stress:            1647.1    @Node   30
Max Stress Intensity:   25173.9    @Node   470

```

Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.

3. Deslocamentos

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 1 (HYD) WW+HP

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	0.000	-0.008	0.000	-0.0008	0.0000	0.0004
35	0.000	-0.009	0.000	-0.0014	0.0000	-0.0004
40	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
50	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
60	0.000	-0.001	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
70	0.000	-0.000	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
78	0.000	0.000	0.000	-0.0018	0.0000	-0.0006
79	-0.000	-0.010	0.000	-0.0026	0.0000	0.0017
80	0.000	-0.024	0.000	-0.0009	-0.0000	0.0012
85	0.000	-0.025	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0011
87	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0011
88	0.000	-0.027	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0011
90	0.000	-0.027	0.000	-0.0007	-0.0000	0.0011
100	0.000	-0.028	0.000	-0.0006	-0.0000	0.0011
110	0.000	-0.029	0.000	-0.0005	-0.0000	0.0010
120	0.000	-0.029	0.000	0.0003	-0.0000	0.0008
130	-0.000	-0.001	0.000	0.0025	0.0000	-0.0001
140	-0.000	-0.000	0.000	0.0025	0.0000	-0.0001
150	-0.000	-0.000	0.000	0.0025	0.0000	-0.0001
160	-0.000	-0.000	0.000	0.0031	0.0000	0.0011
170	-0.000	-0.071	0.001	0.0053	0.0000	0.0018
180	-0.000	-0.073	0.001	0.0053	0.0000	0.0018
190	-0.000	-0.075	0.001	0.0053	0.0000	0.0018
198	-0.000	-0.077	0.001	0.0054	0.0000	0.0017
199	-0.000	-0.069	0.002	0.0061	0.0001	0.0004
200	-0.000	-0.041	0.002	0.0054	0.0001	0.0008
210	-0.000	-0.032	0.002	0.0053	0.0001	0.0009
220	-0.001	-0.028	0.002	0.0053	0.0001	0.0009
230	-0.001	-0.023	0.002	0.0053	0.0001	0.0009
240	-0.001	-0.000	0.002	0.0044	0.0001	0.0011
250	-0.001	0.008	0.002	0.0040	0.0001	0.0012
255	-0.001	0.012	0.002	0.0039	0.0001	0.0013
257	-0.001	0.015	0.002	0.0039	0.0001	0.0013
258	-0.001	0.020	0.002	0.0038	0.0001	0.0013
259	-0.001	0.023	0.002	0.0003	0.0001	0.0025
260	-0.002	0.010	0.002	0.0000	0.0001	0.0022
265	-0.002	0.007	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
266	-0.002	0.005	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
267	-0.002	0.003	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
268	-0.002	-0.000	0.002	-0.0000	0.0001	0.0020
269	-0.002	-0.003	0.003	0.0005	0.0000	-0.0003

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-0.002	0.000	0.003	-0.0001	0.0000	-0.0008
272	-0.002	0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0008
273	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
274	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
275	-0.002	-0.015	0.003	-0.0003	-0.0000	-0.0011
276	-0.002	-0.007	0.003	-0.0007	0.0000	-0.0014
277	-0.002	-0.016	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
278	-0.002	-0.019	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
279	-0.002	-0.017	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
280	-0.002	-0.014	0.003	0.0016	-0.0001	0.0005
281	-0.002	-0.001	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
282	-0.002	-0.021	0.003	0.0007	-0.0000	0.0001
283	-0.002	-0.020	0.003	-0.0001	-0.0000	-0.0011
285	-0.002	-0.012	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
287	-0.002	-0.010	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
288	-0.002	-0.009	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
290	-0.001	-0.006	0.003	0.0015	-0.0001	0.0004
300	-0.001	-0.000	0.003	0.0011	-0.0001	0.0004
310	-0.001	0.003	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
320	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
330	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
339	-0.001	0.005	0.003	0.0003	-0.0000	0.0002
340	-0.000	0.006	0.002	0.0003	0.0000	0.0001
350	0.000	0.008	-0.000	0.0004	0.0000	0.0000
360	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0028
370	0.000	-0.029	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
380	0.000	-0.033	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
390	0.000	-0.061	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.000	-0.002	0.000	0.0008	0.0000	0.0000
425	-0.000	-0.001	0.000	0.0014	0.0000	-0.0001
430	-0.000	-0.000	0.000	0.0016	0.0000	-0.0000
440	-0.000	-0.000	0.000	0.0016	0.0000	-0.0000
450	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
460	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
470	-0.000	-0.002	0.000	0.0022	0.0000	0.0001
472	0.000	-0.014	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
473	0.000	-0.016	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
474	0.000	-0.017	0.000	0.0018	0.0000	0.0003
475	0.000	-0.019	0.000	0.0017	0.0000	0.0003
480	0.000	-0.023	0.000	0.0014	0.0000	0.0005
490	0.000	-0.024	0.000	0.0013	0.0000	0.0005
500	0.000	-0.026	0.000	0.0011	0.0000	0.0005
510	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	0.0029
520	0.000	-0.029	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
530	0.000	-0.033	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
540	0.000	-0.061	0.000	0.0004	0.0000	0.0048

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 2 (OPE) W+T1+P1

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	-0.026	-0.000	0.000	-0.0000	0.0001	0.0000
30	-0.425	-0.008	0.142	-0.0008	0.0179	0.0004
35	-0.709	-0.009	0.349	-0.0014	0.0236	-0.0004
40	-0.830	-0.006	0.448	-0.0016	0.0243	-0.0008
50	-0.856	-0.006	0.469	-0.0017	0.0243	-0.0008
60	-1.033	-0.001	0.609	-0.0017	0.0242	-0.0008
70	-1.059	-0.000	0.630	-0.0017	0.0242	-0.0008
78	-1.095	0.000	0.659	-0.0017	0.0236	-0.0007
79	-1.250	-0.010	0.654	-0.0025	-0.0041	0.0017
80	-1.219	-0.023	0.483	-0.0009	-0.0297	0.0012
85	-1.178	-0.025	0.443	-0.0008	-0.0302	0.0011
87	-1.152	-0.025	0.417	-0.0008	-0.0302	0.0011
88	-1.126	-0.026	0.391	-0.0008	-0.0302	0.0011
90	-1.099	-0.027	0.364	-0.0007	-0.0304	0.0011
100	-1.072	-0.027	0.338	-0.0006	-0.0304	0.0010
110	-1.045	-0.028	0.312	-0.0005	-0.0305	0.0010
120	-0.880	-0.029	0.151	0.0003	-0.0293	0.0008
130	-0.638	-0.001	-0.413	0.0021	-0.0009	-0.0001
140	-0.664	-0.001	-0.414	0.0021	-0.0008	-0.0001
150	-0.691	-0.001	-0.414	0.0021	-0.0008	-0.0001
160	-0.940	-0.000	-0.362	0.0025	0.0120	0.0008
170	-1.858	-0.052	0.442	0.0036	0.0337	0.0007
180	-1.884	-0.052	0.471	0.0036	0.0337	0.0007
190	-1.911	-0.053	0.500	0.0036	0.0337	0.0007
198	-1.957	-0.053	0.552	0.0037	0.0336	0.0005
199	-2.159	-0.042	0.639	0.0043	0.0259	-0.0013
200	-2.311	-0.020	0.538	0.0028	0.0139	-0.0009
210	-2.331	-0.016	0.491	0.0026	0.0135	-0.0009
220	-2.343	-0.013	0.465	0.0026	0.0135	-0.0009
230	-2.354	-0.011	0.439	0.0026	0.0135	-0.0009
240	-2.410	-0.000	0.306	0.0016	0.0127	-0.0007
250	-2.437	0.002	0.240	0.0011	0.0124	-0.0007
255	-2.448	0.003	0.214	0.0011	0.0124	-0.0007
257	-2.459	0.004	0.187	0.0010	0.0124	-0.0007
258	-2.474	0.005	0.149	0.0008	0.0123	-0.0006
259	-2.587	-0.004	0.026	-0.0030	0.0100	0.0004
260	-2.747	-0.011	0.003	-0.0031	0.0035	-0.0009
265	-2.786	-0.010	0.008	-0.0032	0.0032	-0.0010
266	-2.817	-0.009	0.011	-0.0032	0.0031	-0.0010
267	-2.847	-0.008	0.014	-0.0032	0.0031	-0.0010
268	-2.886	-0.007	0.019	-0.0032	0.0026	-0.0011
269	-3.006	0.003	-0.075	-0.0022	-0.0208	-0.0051

Node	U _A mm.	U _I mm.	U _L mm.	K _A deg.	K _I deg.	K _L deg.
270	-2.900	0.005	-0.277	-0.0023	-0.0483	-0.0063
272	-2.838	0.002	-0.316	-0.0023	-0.0491	-0.0065
273	-2.741	-0.002	-0.376	-0.0023	-0.0492	-0.0065
274	-2.790	-0.000	-0.346	-0.0023	-0.0491	-0.0065
275	-2.039	-0.064	-0.121	0.0002	-0.0830	-0.0060
276	-2.332	-0.031	-0.432	-0.0013	-0.0710	-0.0070
277	-2.000	-0.072	-0.016	0.0004	-0.0832	-0.0060
278	-1.940	-0.084	0.149	0.0004	-0.0832	-0.0060
279	-1.970	-0.078	0.067	0.0004	-0.0832	-0.0060
280	-1.214	-0.062	0.577	0.0118	-0.0611	0.0034
281	-2.678	-0.006	-0.415	-0.0024	-0.0499	-0.0067
282	-1.600	-0.103	0.579	0.0041	-0.0766	-0.0002
283	-1.901	-0.092	0.255	0.0007	-0.0832	-0.0059
285	-1.137	-0.047	0.538	0.0121	-0.0605	0.0036
287	-1.085	-0.037	0.512	0.0121	-0.0605	0.0036
288	-1.033	-0.026	0.485	0.0121	-0.0605	0.0036
290	-0.926	-0.005	0.431	0.0124	-0.0596	0.0039
300	-0.725	0.039	0.327	0.0128	-0.0577	0.0045
310	-0.404	0.115	0.153	0.0132	-0.0542	0.0054
320	-0.358	0.126	0.127	0.0132	-0.0542	0.0054
330	-0.311	0.137	0.100	0.0132	-0.0542	0.0054
339	-0.149	0.165	-0.007	0.0119	-0.0394	0.0036
340	-0.074	0.145	-0.089	0.0101	-0.0284	-0.0015
350	0.085	0.006	-0.360	0.0097	-0.0193	0.0000
360	0.275	-0.000	-0.240	0.0097	-0.0192	-0.0025
370	0.275	-0.027	-0.121	0.0096	-0.0191	-0.0045
380	0.275	-0.031	-0.104	0.0096	-0.0191	-0.0045
390	0.275	-0.058	0.005	0.0096	-0.0191	-0.0045
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
420	-0.002	-0.002	-0.060	0.0007	-0.0079	0.0000
425	-0.004	-0.001	-0.154	0.0013	-0.0112	-0.0001
430	-0.005	-0.000	-0.201	0.0015	-0.0120	-0.0000
440	-0.031	-0.000	-0.211	0.0015	-0.0120	-0.0000
450	-0.208	-0.000	-0.280	0.0015	-0.0120	0.0000
460	-0.234	-0.000	-0.291	0.0015	-0.0120	0.0000
470	-0.476	-0.003	-0.385	0.0019	-0.0112	0.0001
472	-0.565	-0.014	-0.223	0.0017	-0.0200	0.0003
473	-0.583	-0.015	-0.197	0.0017	-0.0200	0.0003
474	-0.600	-0.017	-0.171	0.0017	-0.0201	0.0003
475	-0.621	-0.018	-0.142	0.0016	-0.0213	0.0004
480	-0.682	-0.023	-0.063	0.0013	-0.0242	0.0005
490	-0.704	-0.024	-0.037	0.0012	-0.0250	0.0005
500	-0.727	-0.025	-0.011	0.0011	-0.0258	0.0006
510	-0.106	-0.000	-0.461	0.0097	-0.0148	0.0026
520	-0.296	-0.028	-0.540	0.0096	-0.0120	0.0045
530	-0.322	-0.032	-0.550	0.0096	-0.0120	0.0045
540	-0.499	-0.058	-0.619	0.0096	-0.0120	0.0045

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REV0
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 3 (OPE) W+T2+P2

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	-0.026	-0.000	0.000	-0.0000	0.0001	0.0000
30	-0.425	-0.008	0.142	-0.0008	0.0179	0.0004
35	-0.709	-0.009	0.349	-0.0014	0.0236	-0.0004
40	-0.830	-0.006	0.448	-0.0016	0.0243	-0.0008
50	-0.856	-0.006	0.469	-0.0017	0.0243	-0.0008
60	-1.033	-0.001	0.609	-0.0017	0.0242	-0.0008
70	-1.059	-0.000	0.630	-0.0017	0.0242	-0.0008
78	-1.095	0.000	0.659	-0.0017	0.0236	-0.0007
79	-1.250	-0.010	0.654	-0.0025	-0.0041	0.0017
80	-1.219	-0.023	0.483	-0.0009	-0.0297	0.0012
85	-1.178	-0.025	0.443	-0.0008	-0.0302	0.0011
87	-1.152	-0.025	0.417	-0.0008	-0.0302	0.0011
88	-1.126	-0.026	0.391	-0.0008	-0.0302	0.0011
90	-1.099	-0.027	0.364	-0.0007	-0.0304	0.0011
100	-1.072	-0.027	0.338	-0.0006	-0.0304	0.0010
110	-1.045	-0.028	0.312	-0.0005	-0.0305	0.0010
120	-0.880	-0.029	0.151	0.0003	-0.0293	0.0008
130	-0.638	-0.001	-0.413	0.0021	-0.0009	-0.0001
140	-0.664	-0.001	-0.414	0.0021	-0.0008	-0.0001
150	-0.691	-0.001	-0.414	0.0021	-0.0008	-0.0001
160	-0.940	-0.000	-0.362	0.0025	0.0120	0.0008
170	-1.858	-0.052	0.442	0.0036	0.0337	0.0007
180	-1.884	-0.052	0.471	0.0036	0.0337	0.0007
190	-1.911	-0.053	0.500	0.0036	0.0337	0.0007
198	-1.957	-0.053	0.552	0.0037	0.0336	0.0005
199	-2.159	-0.042	0.639	0.0043	0.0259	-0.0013
200	-2.311	-0.020	0.538	0.0028	0.0139	-0.0009
210	-2.331	-0.016	0.491	0.0026	0.0135	-0.0009
220	-2.343	-0.013	0.465	0.0026	0.0135	-0.0009
230	-2.354	-0.011	0.439	0.0026	0.0135	-0.0009
240	-2.410	-0.000	0.306	0.0016	0.0127	-0.0007
250	-2.437	0.002	0.240	0.0011	0.0124	-0.0007
255	-2.448	0.003	0.214	0.0011	0.0124	-0.0007
257	-2.459	0.004	0.187	0.0010	0.0124	-0.0007
258	-2.474	0.005	0.149	0.0008	0.0123	-0.0006
259	-2.587	-0.004	0.026	-0.0030	0.0100	0.0004
260	-2.747	-0.011	0.003	-0.0031	0.0035	-0.0009
265	-2.786	-0.010	0.008	-0.0032	0.0032	-0.0010
266	-2.817	-0.009	0.011	-0.0032	0.0031	-0.0010
267	-2.847	-0.008	0.014	-0.0032	0.0031	-0.0010
268	-2.886	-0.007	0.019	-0.0032	0.0026	-0.0011
269	-3.006	0.003	-0.075	-0.0022	-0.0208	-0.0051

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	KX deg.	KY deg.	KZ deg.
270	-2.900	0.005	-0.277	-0.0023	-0.0483	-0.0063
272	-2.838	0.002	-0.316	-0.0023	-0.0491	-0.0065
273	-2.741	-0.002	-0.376	-0.0023	-0.0492	-0.0065
274	-2.790	-0.000	-0.346	-0.0023	-0.0491	-0.0065
275	-2.039	-0.064	-0.121	0.0002	-0.0830	-0.0060
276	-2.332	-0.031	-0.432	-0.0013	-0.0710	-0.0070
277	-2.000	-0.072	-0.016	0.0004	-0.0832	-0.0060
278	-1.940	-0.084	0.149	0.0004	-0.0832	-0.0060
279	-1.970	-0.078	0.067	0.0004	-0.0832	-0.0060
280	-1.214	-0.062	0.577	0.0118	-0.0611	0.0034
281	-2.678	-0.006	-0.415	-0.0024	-0.0499	-0.0067
282	-1.600	-0.103	0.579	0.0041	-0.0766	-0.0002
283	-1.901	-0.092	0.255	0.0007	-0.0832	-0.0059
285	-1.137	-0.047	0.538	0.0121	-0.0605	0.0036
287	-1.085	-0.037	0.512	0.0121	-0.0605	0.0036
288	-1.033	-0.026	0.485	0.0121	-0.0605	0.0036
290	-0.926	-0.005	0.431	0.0124	-0.0596	0.0039
300	-0.725	0.039	0.327	0.0128	-0.0577	0.0045
310	-0.404	0.115	0.153	0.0132	-0.0542	0.0054
320	-0.358	0.126	0.127	0.0132	-0.0542	0.0054
330	-0.311	0.137	0.100	0.0132	-0.0542	0.0054
339	-0.149	0.165	-0.007	0.0119	-0.0394	0.0036
340	-0.074	0.145	-0.089	0.0101	-0.0284	-0.0015
350	0.085	0.006	-0.360	0.0097	-0.0193	0.0000
360	0.275	-0.000	-0.240	0.0097	-0.0192	-0.0025
370	0.275	-0.027	-0.121	0.0096	-0.0191	-0.0045
380	0.275	-0.031	-0.104	0.0096	-0.0191	-0.0045
390	0.275	-0.058	0.005	0.0096	-0.0191	-0.0045
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	-0.0000	0.0000
420	-0.002	-0.002	-0.060	0.0007	-0.0079	0.0000
425	-0.004	-0.001	-0.154	0.0013	-0.0112	-0.0001
430	-0.005	-0.000	-0.201	0.0015	-0.0120	-0.0000
440	-0.031	-0.000	-0.211	0.0015	-0.0120	-0.0000
450	-0.208	-0.000	-0.280	0.0015	-0.0120	0.0000
460	-0.234	-0.000	-0.291	0.0015	-0.0120	0.0000
470	-0.476	-0.003	-0.385	0.0019	-0.0112	0.0001
472	-0.565	-0.014	-0.223	0.0017	-0.0200	0.0003
473	-0.583	-0.015	-0.197	0.0017	-0.0200	0.0003
474	-0.600	-0.017	-0.171	0.0017	-0.0201	0.0003
475	-0.621	-0.018	-0.142	0.0016	-0.0213	0.0004
480	-0.682	-0.023	-0.063	0.0013	-0.0242	0.0005
490	-0.704	-0.024	-0.037	0.0012	-0.0250	0.0005
500	-0.727	-0.025	-0.011	0.0011	-0.0258	0.0006
510	-0.106	-0.000	-0.461	0.0097	-0.0148	0.0026
520	-0.296	-0.028	-0.540	0.0096	-0.0120	0.0045
530	-0.322	-0.032	-0.550	0.0096	-0.0120	0.0045
540	-0.499	-0.058	-0.619	0.0096	-0.0120	0.0045

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 4 (OPE) W+T3+P3

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	-0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	-0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	-0.001	-0.008	0.105	-0.0008	0.0145	0.0004
35	-0.002	-0.009	0.280	-0.0014	0.0220	-0.0004
40	-0.002	-0.006	0.374	-0.0016	0.0246	-0.0008
50	-0.002	-0.006	0.395	-0.0016	0.0246	-0.0008
60	-0.002	-0.001	0.537	-0.0017	0.0247	-0.0008
70	-0.002	-0.000	0.559	-0.0017	0.0247	-0.0008
78	-0.002	0.000	0.589	-0.0017	0.0252	-0.0007
79	-0.069	-0.009	0.739	-0.0025	0.0371	0.0017
80	-0.258	-0.023	0.816	-0.0009	0.0404	0.0012
85	-0.312	-0.024	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
87	-0.346	-0.025	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
88	-0.381	-0.026	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
90	-0.416	-0.026	0.816	-0.0007	0.0403	0.0011
100	-0.451	-0.027	0.816	-0.0006	0.0401	0.0010
110	-0.486	-0.028	0.816	-0.0005	0.0400	0.0010
120	-0.696	-0.028	0.817	0.0003	0.0385	0.0008
130	-1.463	-0.001	0.727	0.0021	0.0290	-0.0001
140	-1.489	-0.001	0.752	0.0021	0.0290	-0.0001
150	-1.516	-0.001	0.777	0.0021	0.0290	-0.0001
160	-1.765	-0.000	1.017	0.0023	0.0293	0.0008
170	-2.683	-0.048	1.828	0.0033	0.0225	0.0005
180	-2.709	-0.048	1.847	0.0033	0.0225	0.0005
190	-2.736	-0.049	1.867	0.0033	0.0225	0.0005
198	-2.782	-0.049	1.901	0.0033	0.0218	0.0003
199	-2.942	-0.037	1.898	0.0039	0.0011	-0.0016
200	-2.955	-0.017	1.742	0.0023	-0.0191	-0.0013
210	-2.925	-0.013	1.696	0.0021	-0.0198	-0.0013
220	-2.908	-0.011	1.669	0.0021	-0.0198	-0.0013
230	-2.891	-0.009	1.643	0.0021	-0.0198	-0.0013
240	-2.801	-0.000	1.511	0.0011	-0.0213	-0.0012
250	-2.754	0.001	1.444	0.0006	-0.0219	-0.0011
255	-2.735	0.001	1.417	0.0005	-0.0220	-0.0011
257	-2.716	0.002	1.391	0.0005	-0.0220	-0.0011
258	-2.688	0.002	1.352	0.0003	-0.0223	-0.0011
259	-2.623	-0.008	1.154	-0.0036	-0.0305	-0.0000
260	-2.702	-0.014	0.933	-0.0037	-0.0382	-0.0015
265	-2.741	-0.012	0.885	-0.0038	-0.0384	-0.0017
266	-2.771	-0.011	0.847	-0.0038	-0.0384	-0.0017
267	-2.802	-0.009	0.808	-0.0038	-0.0385	-0.0017
268	-2.840	-0.007	0.760	-0.0038	-0.0388	-0.0018
269	-2.894	0.005	0.492	-0.0028	-0.0508	-0.0060

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	KX deg.	KY deg.	KZ deg.
270	-2.684	0.007	0.241	-0.0029	-0.0623	-0.0072
272	-2.605	0.003	0.202	-0.0030	-0.0626	-0.0074
273	-2.481	-0.003	0.142	-0.0030	-0.0626	-0.0074
274	-2.543	-0.000	0.172	-0.0030	-0.0626	-0.0074
275	-1.755	-0.078	0.350	-0.0007	-0.0678	-0.0072
276	-2.032	-0.038	0.088	-0.0021	-0.0676	-0.0081
277	-1.716	-0.088	0.436	-0.0004	-0.0677	-0.0072
278	-1.656	-0.102	0.570	-0.0004	-0.0677	-0.0072
279	-1.686	-0.095	0.503	-0.0004	-0.0677	-0.0072
280	-1.021	-0.095	0.874	0.0111	-0.0511	0.0022
281	-2.401	-0.007	0.103	-0.0030	-0.0628	-0.0076
282	-1.347	-0.130	0.903	0.0033	-0.0616	-0.0014
283	-1.617	-0.111	0.656	-0.0001	-0.0676	-0.0071
285	-0.956	-0.081	0.835	0.0113	-0.0507	0.0024
287	-0.913	-0.071	0.808	0.0113	-0.0507	0.0024
288	-0.869	-0.062	0.782	0.0114	-0.0507	0.0024
290	-0.780	-0.041	0.728	0.0116	-0.0500	0.0027
300	-0.611	-0.000	0.623	0.0121	-0.0486	0.0033
310	-0.340	0.071	0.449	0.0128	-0.0459	0.0042
320	-0.300	0.082	0.422	0.0128	-0.0458	0.0042
330	-0.261	0.093	0.396	0.0128	-0.0458	0.0042
339	-0.123	0.122	0.288	0.0142	-0.0337	0.0028
340	-0.059	0.110	0.200	0.0150	-0.0246	-0.0013
350	0.079	0.007	-0.108	0.0151	-0.0168	0.0000
360	0.270	-0.000	-0.009	0.0150	-0.0154	-0.0027
370	0.270	-0.028	0.083	0.0149	-0.0146	-0.0046
380	0.270	-0.032	0.096	0.0149	-0.0145	-0.0046
390	0.270	-0.059	0.179	0.0149	-0.0145	-0.0046
400	0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.026	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.426	-0.002	0.053	0.0007	0.0087	0.0000
425	-0.711	-0.001	0.167	0.0012	0.0162	-0.0001
430	-0.832	-0.000	0.237	0.0014	0.0197	-0.0000
440	-0.858	-0.000	0.254	0.0014	0.0198	-0.0000
450	-1.035	-0.000	0.369	0.0015	0.0200	0.0000
460	-1.061	-0.000	0.386	0.0015	0.0200	0.0000
470	-1.301	-0.003	0.574	0.0019	0.0283	0.0001
472	-1.136	-0.014	0.736	0.0017	0.0328	0.0003
473	-1.108	-0.015	0.762	0.0017	0.0328	0.0003
474	-1.080	-0.017	0.788	0.0017	0.0328	0.0003
475	-1.048	-0.018	0.817	0.0016	0.0335	0.0004
480	-0.958	-0.022	0.817	0.0013	0.0351	0.0005
490	-0.928	-0.023	0.817	0.0012	0.0356	0.0005
500	-0.896	-0.024	0.817	0.0011	0.0361	0.0006
510	-0.111	-0.000	-0.201	0.0150	-0.0141	0.0027
520	-0.301	-0.028	-0.281	0.0149	-0.0124	0.0046
530	-0.328	-0.032	-0.292	0.0149	-0.0124	0.0046
540	-0.504	-0.059	-0.363	0.0149	-0.0124	0.0047

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 5 (OPE) W+T4+P4

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	-0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	-0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	-0.001	-0.008	0.105	-0.0008	0.0145	0.0004
35	-0.002	-0.009	0.280	-0.0014	0.0220	-0.0004
40	-0.002	-0.006	0.374	-0.0016	0.0246	-0.0008
50	-0.002	-0.006	0.395	-0.0016	0.0246	-0.0008
60	-0.002	-0.001	0.537	-0.0017	0.0247	-0.0008
70	-0.002	-0.000	0.559	-0.0017	0.0247	-0.0008
78	-0.002	0.000	0.589	-0.0017	0.0252	-0.0007
79	-0.069	-0.009	0.739	-0.0025	0.0371	0.0017
80	-0.258	-0.023	0.816	-0.0009	0.0404	0.0012
85	-0.312	-0.024	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
87	-0.346	-0.025	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
88	-0.381	-0.026	0.816	-0.0008	0.0404	0.0011
90	-0.416	-0.026	0.816	-0.0007	0.0403	0.0011
100	-0.451	-0.027	0.816	-0.0006	0.0401	0.0010
110	-0.486	-0.028	0.816	-0.0005	0.0400	0.0010
120	-0.696	-0.028	0.817	0.0003	0.0385	0.0008
130	-1.463	-0.001	0.727	0.0021	0.0290	-0.0001
140	-1.489	-0.001	0.752	0.0021	0.0290	-0.0001
150	-1.516	-0.001	0.777	0.0021	0.0290	-0.0001
160	-1.765	-0.000	1.017	0.0023	0.0293	0.0008
170	-2.683	-0.048	1.828	0.0033	0.0225	0.0005
180	-2.709	-0.048	1.847	0.0033	0.0225	0.0005
190	-2.736	-0.049	1.867	0.0033	0.0225	0.0005
198	-2.782	-0.049	1.901	0.0033	0.0218	0.0003
199	-2.942	-0.037	1.898	0.0039	0.0011	-0.0016
200	-2.955	-0.017	1.742	0.0023	-0.0191	-0.0013
210	-2.925	-0.013	1.696	0.0021	-0.0198	-0.0013
220	-2.908	-0.011	1.669	0.0021	-0.0198	-0.0013
230	-2.891	-0.009	1.643	0.0021	-0.0198	-0.0013
240	-2.801	-0.000	1.511	0.0011	-0.0213	-0.0012
250	-2.754	0.001	1.444	0.0006	-0.0219	-0.0011
255	-2.735	0.001	1.417	0.0005	-0.0220	-0.0011
257	-2.716	0.002	1.391	0.0005	-0.0220	-0.0011
258	-2.688	0.002	1.352	0.0003	-0.0223	-0.0011
259	-2.623	-0.008	1.154	-0.0036	-0.0305	-0.0000
260	-2.702	-0.014	0.933	-0.0037	-0.0382	-0.0015
265	-2.741	-0.012	0.885	-0.0038	-0.0384	-0.0017
266	-2.771	-0.011	0.847	-0.0038	-0.0384	-0.0017
267	-2.802	-0.009	0.808	-0.0038	-0.0385	-0.0017
268	-2.840	-0.007	0.760	-0.0038	-0.0388	-0.0018
269	-2.894	0.005	0.492	-0.0028	-0.0508	-0.0060

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-2.684	0.007	0.241	-0.0029	-0.0623	-0.0072
272	-2.605	0.003	0.202	-0.0030	-0.0626	-0.0074
273	-2.481	-0.003	0.142	-0.0030	-0.0626	-0.0074
274	-2.543	-0.000	0.172	-0.0030	-0.0626	-0.0074
275	-1.755	-0.078	0.350	-0.0007	-0.0678	-0.0072
276	-2.032	-0.038	0.088	-0.0021	-0.0676	-0.0081
277	-1.716	-0.088	0.436	-0.0004	-0.0677	-0.0072
278	-1.656	-0.102	0.570	-0.0004	-0.0677	-0.0072
279	-1.686	-0.095	0.503	-0.0004	-0.0677	-0.0072
280	-1.021	-0.095	0.874	0.0111	-0.0511	0.0022
281	-2.401	-0.007	0.103	-0.0030	-0.0628	-0.0076
282	-1.347	-0.130	0.903	0.0033	-0.0616	-0.0014
283	-1.617	-0.111	0.656	-0.0001	-0.0676	-0.0071
285	-0.956	-0.081	0.835	0.0113	-0.0507	0.0024
287	-0.913	-0.071	0.808	0.0113	-0.0507	0.0024
288	-0.869	-0.062	0.782	0.0114	-0.0507	0.0024
290	-0.780	-0.041	0.728	0.0116	-0.0500	0.0027
300	-0.611	-0.000	0.623	0.0121	-0.0486	0.0033
310	-0.340	0.071	0.449	0.0128	-0.0459	0.0042
320	-0.300	0.082	0.422	0.0128	-0.0458	0.0042
330	-0.261	0.093	0.396	0.0128	-0.0458	0.0042
339	-0.123	0.122	0.288	0.0142	-0.0337	0.0028
340	-0.059	0.110	0.200	0.0150	-0.0246	-0.0013
350	0.079	0.007	-0.108	0.0151	-0.0168	0.0000
360	0.270	-0.000	-0.009	0.0150	-0.0154	-0.0027
370	0.270	-0.028	0.083	0.0149	-0.0146	-0.0046
380	0.270	-0.032	0.096	0.0149	-0.0145	-0.0046
390	0.270	-0.059	0.179	0.0149	-0.0145	-0.0046
400	0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.026	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.426	-0.002	0.053	0.0007	0.0087	0.0000
425	-0.711	-0.001	0.167	0.0012	0.0162	-0.0001
430	-0.832	-0.000	0.237	0.0014	0.0197	-0.0000
440	-0.858	-0.000	0.254	0.0014	0.0198	-0.0000
450	-1.035	-0.000	0.369	0.0015	0.0200	0.0000
460	-1.061	-0.000	0.386	0.0015	0.0200	0.0000
470	-1.301	-0.003	0.574	0.0019	0.0283	0.0001
472	-1.136	-0.014	0.736	0.0017	0.0328	0.0003
473	-1.108	-0.015	0.762	0.0017	0.0328	0.0003
474	-1.080	-0.017	0.788	0.0017	0.0328	0.0003
475	-1.048	-0.018	0.817	0.0016	0.0335	0.0004
480	-0.958	-0.022	0.817	0.0013	0.0351	0.0005
490	-0.928	-0.023	0.817	0.0012	0.0356	0.0005
500	-0.896	-0.024	0.817	0.0011	0.0361	0.0006
510	-0.111	-0.000	-0.201	0.0150	-0.0141	0.0027
520	-0.301	-0.028	-0.281	0.0149	-0.0124	0.0046
530	-0.328	-0.032	-0.292	0.0149	-0.0124	0.0046
540	-0.504	-0.059	-0.363	0.0149	-0.0124	0.0047

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 6 (SUS) W+P1

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	0.000	-0.008	0.000	-0.0009	0.0000	0.0004
35	0.000	-0.009	0.000	-0.0015	0.0000	-0.0004
40	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
50	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
60	0.000	-0.001	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
70	0.000	-0.000	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
78	0.000	0.000	0.000	-0.0018	0.0000	-0.0006
79	-0.000	-0.010	0.000	-0.0026	0.0000	0.0017
80	0.000	-0.024	0.000	-0.0010	-0.0000	0.0012
85	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
87	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
88	0.000	-0.027	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
90	0.000	-0.028	0.000	-0.0007	-0.0000	0.0011
100	0.000	-0.029	0.000	-0.0006	-0.0000	0.0011
110	0.000	-0.029	0.000	-0.0005	-0.0000	0.0010
120	0.000	-0.030	0.000	0.0003	-0.0000	0.0008
130	-0.000	-0.001	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
140	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
150	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
160	-0.000	-0.000	0.000	0.0032	0.0000	0.0011
170	-0.000	-0.073	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
180	-0.000	-0.074	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
190	-0.000	-0.076	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
198	-0.000	-0.078	0.001	0.0055	0.0000	0.0017
199	-0.000	-0.070	0.002	0.0062	0.0001	0.0004
200	-0.000	-0.041	0.002	0.0055	0.0001	0.0008
210	-0.000	-0.033	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
220	-0.001	-0.028	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
230	-0.001	-0.023	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
240	-0.001	-0.000	0.002	0.0045	0.0001	0.0011
250	-0.001	0.008	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
255	-0.001	0.012	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
257	-0.001	0.015	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
258	-0.001	0.020	0.002	0.0038	0.0001	0.0014
259	-0.001	0.023	0.002	0.0004	0.0001	0.0026
260	-0.002	0.010	0.002	0.0000	0.0001	0.0022
265	-0.002	0.007	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
266	-0.002	0.005	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
267	-0.002	0.003	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
268	-0.002	0.000	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
269	-0.002	-0.003	0.003	0.0005	0.0000	-0.0003

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-0.002	0.000	0.003	-0.0001	0.0000	-0.0008
272	-0.002	0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
273	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
274	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
275	-0.002	-0.015	0.003	-0.0003	-0.0000	-0.0011
276	-0.002	-0.007	0.003	-0.0007	0.0000	-0.0014
277	-0.002	-0.017	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
278	-0.002	-0.019	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
279	-0.002	-0.018	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
280	-0.002	-0.014	0.003	0.0016	-0.0001	0.0005
281	-0.002	-0.001	0.003	-0.0003	0.0000	-0.0010
282	-0.002	-0.021	0.003	0.0008	-0.0000	0.0001
283	-0.002	-0.020	0.003	-0.0001	-0.0000	-0.0011
285	-0.002	-0.012	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
287	-0.002	-0.010	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
288	-0.002	-0.009	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
290	-0.001	-0.006	0.003	0.0015	-0.0001	0.0004
300	-0.001	-0.000	0.003	0.0011	-0.0001	0.0004
310	-0.001	0.003	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
320	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
330	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
339	-0.001	0.005	0.003	0.0003	-0.0000	0.0002
340	-0.000	0.006	0.002	0.0003	0.0000	0.0001
350	0.000	0.008	-0.000	0.0004	0.0000	0.0000
360	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0028
370	0.000	-0.029	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
380	0.000	-0.033	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
390	0.000	-0.061	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.000	-0.002	0.000	0.0008	0.0000	0.0000
425	-0.000	-0.001	0.000	0.0014	0.0000	-0.0001
430	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
440	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
450	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
460	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
470	-0.000	-0.002	0.000	0.0022	0.0000	0.0001
472	0.000	-0.014	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
473	0.000	-0.016	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
474	0.000	-0.018	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
475	0.000	-0.019	0.000	0.0018	0.0000	0.0003
480	0.000	-0.024	0.000	0.0014	0.0000	0.0005
490	0.000	-0.025	0.000	0.0013	0.0000	0.0005
500	0.000	-0.026	0.000	0.0012	0.0000	0.0005
510	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	0.0029
520	0.000	-0.029	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
530	0.000	-0.034	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
540	0.000	-0.061	0.000	0.0004	0.0000	0.0048

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 7 (SUS) W+P2

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	0.000	-0.008	0.000	-0.0009	0.0000	0.0004
35	0.000	-0.009	0.000	-0.0015	0.0000	-0.0004
40	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
50	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
60	0.000	-0.001	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
70	0.000	-0.000	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
78	0.000	0.000	0.000	-0.0018	0.0000	-0.0006
79	-0.000	-0.010	0.000	-0.0026	0.0000	0.0017
80	0.000	-0.024	0.000	-0.0010	-0.0000	0.0012
85	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
87	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
88	0.000	-0.027	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
90	0.000	-0.028	0.000	-0.0007	-0.0000	0.0011
100	0.000	-0.029	0.000	-0.0006	-0.0000	0.0011
110	0.000	-0.029	0.000	-0.0005	-0.0000	0.0010
120	0.000	-0.030	0.000	0.0003	-0.0000	0.0008
130	-0.000	-0.001	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
140	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
150	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
160	-0.000	-0.000	0.000	0.0032	0.0000	0.0011
170	-0.000	-0.073	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
180	-0.000	-0.074	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
190	-0.000	-0.076	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
198	-0.000	-0.078	0.001	0.0055	0.0000	0.0017
199	-0.000	-0.070	0.002	0.0062	0.0001	0.0004
200	-0.000	-0.041	0.002	0.0055	0.0001	0.0008
210	-0.000	-0.033	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
220	-0.001	-0.028	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
230	-0.001	-0.023	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
240	-0.001	-0.000	0.002	0.0045	0.0001	0.0011
250	-0.001	0.008	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
255	-0.001	0.012	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
257	-0.001	0.015	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
258	-0.001	0.020	0.002	0.0038	0.0001	0.0014
259	-0.001	0.023	0.002	0.0004	0.0001	0.0026
260	-0.002	0.010	0.002	0.0000	0.0001	0.0022
265	-0.002	0.007	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
266	-0.002	0.005	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
267	-0.002	0.003	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
268	-0.002	0.000	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
269	-0.002	-0.003	0.003	0.0005	0.0000	-0.0003

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-0.002	0.000	0.003	-0.0001	0.0000	-0.0008
272	-0.002	0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
273	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
274	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
275	-0.002	-0.015	0.003	-0.0003	-0.0000	-0.0011
276	-0.002	-0.007	0.003	-0.0007	0.0000	-0.0014
277	-0.002	-0.017	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
278	-0.002	-0.019	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
279	-0.002	-0.018	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
280	-0.002	-0.014	0.003	0.0016	-0.0001	0.0005
281	-0.002	-0.001	0.003	-0.0003	0.0000	-0.0010
282	-0.002	-0.021	0.003	0.0008	-0.0000	0.0001
283	-0.002	-0.020	0.003	-0.0001	-0.0000	-0.0011
285	-0.002	-0.012	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
287	-0.002	-0.010	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
288	-0.002	-0.009	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
290	-0.001	-0.006	0.003	0.0015	-0.0001	0.0004
300	-0.001	-0.000	0.003	0.0011	-0.0001	0.0004
310	-0.001	0.003	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
320	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
330	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
339	-0.001	0.005	0.003	0.0003	-0.0000	0.0002
340	-0.000	0.006	0.002	0.0003	0.0000	0.0001
350	0.000	0.008	-0.000	0.0004	0.0000	0.0000
360	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0028
370	0.000	-0.029	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
380	0.000	-0.033	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
390	0.000	-0.061	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.000	-0.002	0.000	0.0008	0.0000	0.0000
425	-0.000	-0.001	0.000	0.0014	0.0000	-0.0001
430	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
440	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
450	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
460	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
470	-0.000	-0.002	0.000	0.0022	0.0000	0.0001
472	0.000	-0.014	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
473	0.000	-0.016	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
474	0.000	-0.018	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
475	0.000	-0.019	0.000	0.0018	0.0000	0.0003
480	0.000	-0.024	0.000	0.0014	0.0000	0.0005
490	0.000	-0.025	0.000	0.0013	0.0000	0.0005
500	0.000	-0.026	0.000	0.0012	0.0000	0.0005
510	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	0.0029
520	0.000	-0.029	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
530	0.000	-0.034	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
540	0.000	-0.061	0.000	0.0004	0.0000	0.0048

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 8 (SUS) W+P3

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	0.000	-0.008	0.000	-0.0009	0.0000	0.0004
35	0.000	-0.009	0.000	-0.0015	0.0000	-0.0004
40	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
50	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
60	0.000	-0.001	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
70	0.000	-0.000	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
78	0.000	0.000	0.000	-0.0018	0.0000	-0.0006
79	-0.000	-0.010	0.000	-0.0026	0.0000	0.0017
80	0.000	-0.024	0.000	-0.0010	-0.0000	0.0012
85	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
87	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
88	0.000	-0.027	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
90	0.000	-0.028	0.000	-0.0007	-0.0000	0.0011
100	0.000	-0.029	0.000	-0.0006	-0.0000	0.0011
110	0.000	-0.029	0.000	-0.0005	-0.0000	0.0010
120	0.000	-0.030	0.000	0.0003	-0.0000	0.0008
130	-0.000	-0.001	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
140	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
150	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
160	-0.000	-0.000	0.000	0.0032	0.0000	0.0011
170	-0.000	-0.073	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
180	-0.000	-0.074	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
190	-0.000	-0.076	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
198	-0.000	-0.078	0.001	0.0055	0.0000	0.0017
199	-0.000	-0.070	0.002	0.0062	0.0001	0.0004
200	-0.000	-0.041	0.002	0.0055	0.0001	0.0008
210	-0.000	-0.033	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
220	-0.001	-0.028	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
230	-0.001	-0.023	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
240	-0.001	-0.000	0.002	0.0045	0.0001	0.0011
250	-0.001	0.008	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
255	-0.001	0.012	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
257	-0.001	0.015	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
258	-0.001	0.020	0.002	0.0038	0.0001	0.0014
259	-0.001	0.023	0.002	0.0004	0.0001	0.0026
260	-0.002	0.010	0.002	0.0000	0.0001	0.0022
265	-0.002	0.007	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
266	-0.002	0.005	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
267	-0.002	0.003	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
268	-0.002	0.000	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
269	-0.002	-0.003	0.003	0.0005	0.0000	-0.0003

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-0.002	0.000	0.003	-0.0001	0.0000	-0.0008
272	-0.002	0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
273	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
274	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
275	-0.002	-0.015	0.003	-0.0003	-0.0000	-0.0011
276	-0.002	-0.007	0.003	-0.0007	0.0000	-0.0014
277	-0.002	-0.017	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
278	-0.002	-0.019	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
279	-0.002	-0.018	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
280	-0.002	-0.014	0.003	0.0016	-0.0001	0.0005
281	-0.002	-0.001	0.003	-0.0003	0.0000	-0.0010
282	-0.002	-0.021	0.003	0.0008	-0.0000	0.0001
283	-0.002	-0.020	0.003	-0.0001	-0.0000	-0.0011
285	-0.002	-0.012	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
287	-0.002	-0.010	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
288	-0.002	-0.009	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
290	-0.001	-0.006	0.003	0.0015	-0.0001	0.0004
300	-0.001	-0.000	0.003	0.0011	-0.0001	0.0004
310	-0.001	0.003	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
320	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
330	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
339	-0.001	0.005	0.003	0.0003	-0.0000	0.0002
340	-0.000	0.006	0.002	0.0003	0.0000	0.0001
350	0.000	0.008	-0.000	0.0004	0.0000	0.0000
360	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0028
370	0.000	-0.029	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
380	0.000	-0.033	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
390	0.000	-0.061	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.000	-0.002	0.000	0.0008	0.0000	0.0000
425	-0.000	-0.001	0.000	0.0014	0.0000	-0.0001
430	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
440	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
450	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
460	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
470	-0.000	-0.002	0.000	0.0022	0.0000	0.0001
472	0.000	-0.014	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
473	0.000	-0.016	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
474	0.000	-0.018	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
475	0.000	-0.019	0.000	0.0018	0.0000	0.0003
480	0.000	-0.024	0.000	0.0014	0.0000	0.0005
490	0.000	-0.025	0.000	0.0013	0.0000	0.0005
500	0.000	-0.026	0.000	0.0012	0.0000	0.0005
510	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	0.0029
520	0.000	-0.029	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
530	0.000	-0.034	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
540	0.000	-0.061	0.000	0.0004	0.0000	0.0048

CAESAR II Ver.14.00.00.0910, (Build 231113) Date: JAN 20, 2026 Time: 18:20
 Job Name: P-82F-5_A_B_SUC_REVO
 Licensed To: Edit name in <system>\company.txt
 DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements
 CASE 9 (SUS) W+P4

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
10	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
20	0.000	-0.000	0.000	-0.0000	0.0000	0.0000
30	0.000	-0.008	0.000	-0.0009	0.0000	0.0004
35	0.000	-0.009	0.000	-0.0015	0.0000	-0.0004
40	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
50	0.000	-0.006	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
60	0.000	-0.001	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
70	0.000	-0.000	0.000	-0.0017	0.0000	-0.0008
78	0.000	0.000	0.000	-0.0018	0.0000	-0.0006
79	-0.000	-0.010	0.000	-0.0026	0.0000	0.0017
80	0.000	-0.024	0.000	-0.0010	-0.0000	0.0012
85	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
87	0.000	-0.026	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
88	0.000	-0.027	0.000	-0.0008	-0.0000	0.0012
90	0.000	-0.028	0.000	-0.0007	-0.0000	0.0011
100	0.000	-0.029	0.000	-0.0006	-0.0000	0.0011
110	0.000	-0.029	0.000	-0.0005	-0.0000	0.0010
120	0.000	-0.030	0.000	0.0003	-0.0000	0.0008
130	-0.000	-0.001	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
140	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
150	-0.000	-0.000	0.000	0.0026	0.0000	-0.0001
160	-0.000	-0.000	0.000	0.0032	0.0000	0.0011
170	-0.000	-0.073	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
180	-0.000	-0.074	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
190	-0.000	-0.076	0.001	0.0054	0.0000	0.0018
198	-0.000	-0.078	0.001	0.0055	0.0000	0.0017
199	-0.000	-0.070	0.002	0.0062	0.0001	0.0004
200	-0.000	-0.041	0.002	0.0055	0.0001	0.0008
210	-0.000	-0.033	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
220	-0.001	-0.028	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
230	-0.001	-0.023	0.002	0.0054	0.0001	0.0009
240	-0.001	-0.000	0.002	0.0045	0.0001	0.0011
250	-0.001	0.008	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
255	-0.001	0.012	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
257	-0.001	0.015	0.002	0.0040	0.0001	0.0013
258	-0.001	0.020	0.002	0.0038	0.0001	0.0014
259	-0.001	0.023	0.002	0.0004	0.0001	0.0026
260	-0.002	0.010	0.002	0.0000	0.0001	0.0022
265	-0.002	0.007	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
266	-0.002	0.005	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
267	-0.002	0.003	0.002	-0.0000	0.0001	0.0022
268	-0.002	0.000	0.002	-0.0000	0.0001	0.0021
269	-0.002	-0.003	0.003	0.0005	0.0000	-0.0003

Node	DX mm.	DY mm.	DZ mm.	RX deg.	RY deg.	RZ deg.
270	-0.002	0.000	0.003	-0.0001	0.0000	-0.0008
272	-0.002	0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
273	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
274	-0.002	-0.000	0.003	-0.0002	0.0000	-0.0009
275	-0.002	-0.015	0.003	-0.0003	-0.0000	-0.0011
276	-0.002	-0.007	0.003	-0.0007	0.0000	-0.0014
277	-0.002	-0.017	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
278	-0.002	-0.019	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
279	-0.002	-0.018	0.003	-0.0002	-0.0000	-0.0011
280	-0.002	-0.014	0.003	0.0016	-0.0001	0.0005
281	-0.002	-0.001	0.003	-0.0003	0.0000	-0.0010
282	-0.002	-0.021	0.003	0.0008	-0.0000	0.0001
283	-0.002	-0.020	0.003	-0.0001	-0.0000	-0.0011
285	-0.002	-0.012	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
287	-0.002	-0.010	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
288	-0.002	-0.009	0.003	0.0016	-0.0001	0.0004
290	-0.001	-0.006	0.003	0.0015	-0.0001	0.0004
300	-0.001	-0.000	0.003	0.0011	-0.0001	0.0004
310	-0.001	0.003	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
320	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
330	-0.001	0.004	0.003	0.0006	-0.0001	0.0003
339	-0.001	0.005	0.003	0.0003	-0.0000	0.0002
340	-0.000	0.006	0.002	0.0003	0.0000	0.0001
350	0.000	0.008	-0.000	0.0004	0.0000	0.0000
360	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0028
370	0.000	-0.029	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
380	0.000	-0.033	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
390	0.000	-0.061	-0.000	0.0004	0.0000	-0.0048
400	-0.000	-0.000	-0.000	0.0000	0.0000	0.0000
410	-0.000	-0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000
420	-0.000	-0.002	0.000	0.0008	0.0000	0.0000
425	-0.000	-0.001	0.000	0.0014	0.0000	-0.0001
430	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
440	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	-0.0000
450	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
460	-0.000	-0.000	0.000	0.0017	0.0000	0.0000
470	-0.000	-0.002	0.000	0.0022	0.0000	0.0001
472	0.000	-0.014	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
473	0.000	-0.016	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
474	0.000	-0.018	0.000	0.0019	0.0000	0.0003
475	0.000	-0.019	0.000	0.0018	0.0000	0.0003
480	0.000	-0.024	0.000	0.0014	0.0000	0.0005
490	0.000	-0.025	0.000	0.0013	0.0000	0.0005
500	0.000	-0.026	0.000	0.0012	0.0000	0.0005
510	0.000	-0.000	-0.000	0.0004	0.0000	0.0029
520	0.000	-0.029	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
530	0.000	-0.034	0.000	0.0004	0.0000	0.0048
540	0.000	-0.061	0.000	0.0004	0.0000	0.0048

Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.

4. Cargas nos suportes

Node	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
LOAD CASE DEFINITION KEY										
CASE 6 (SUS) W+P1										
CASE 7 (SUS) W+P2										
CASE 8 (SUS) W+P3										
CASE 9 (SUS) W+P4										
10	TYPE=Rigid ANC;Tag=BOMBA 1									
	6 (SUS)	2	-1685	1	-200	2	634	0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	2	-1685	1	-200	2	634	0.000	-0.000	0.000
	8 (SUS)	2	-1685	1	-200	2	634	0.000	-0.000	0.000
	9 (SUS)	2	-1685	1	-200	2	634	0.000	-0.000	0.000
	MAX	2/L6	-1685/L6	1/L6	-200/L6	2/L6	634/L6	0.000/L6	-0.000/L6	0.000/L6
50	TYPE=Rigid +Y w/gap; Rigid GUI w/gap;									
	6 (SUS)	0	0	0	0	0	0	0.000	-0.006	0.000
	7 (SUS)	0	0	0	0	0	0	0.000	-0.006	0.000
	8 (SUS)	0	0	0	0	0	0	0.000	-0.006	0.000
	9 (SUS)	0	0	0	0	0	0	0.000	-0.006	0.000
								0.000/L6	-0.006/L6	0.000/L6
70	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-6030	0	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	0	-6030	0	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	8 (SUS)	0	-6030	0	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	9 (SUS)	0	-6030	0	0	0	0	0.000	-0.000	0.000
	MAX		-6030/L6					0.000/L6	-0.000/L6	0.000/L6
160	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-3882	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	0	-3882	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	8 (SUS)	0	-3882	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	9 (SUS)	0	-3882	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	MAX		-3882/L6					-0.000/L6	-0.000/L6	0.000/L6
240	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-4279	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.002
	7 (SUS)	0	-4279	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.002
	8 (SUS)	0	-4279	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.002
	9 (SUS)	0	-4279	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.002
	MAX		-4279/L6					-0.001/L6	-0.000/L6	0.002/L6
300	TYPE=Rigid +Y; Rigid GUI w/gap;									
	6 (SUS)	0	-3088	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.003
	7 (SUS)	0	-3088	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.003
	8 (SUS)	0	-3088	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.003
	9 (SUS)	0	-3088	0	0	0	0	-0.001	-0.000	0.003
	MAX		-3088/L6					-0.001/L6	-0.000/L6	0.003/L6
360	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-4324	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	7 (SUS)	0	-4324	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	8 (SUS)	0	-4324	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	9 (SUS)	0	-4324	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	MAX		-4324/L6					0.000/L6	-0.000/L6	-0.000/L6
390	TYPE=Flex ANC;Tag=TANQUE 2									
	6 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16	0.000	-0.061	-0.000
	7 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16	0.000	-0.061	-0.000
	8 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16	0.000	-0.061	-0.000
	9 (SUS)	0	-307	-2	1	0	-16	0.000	-0.061	-0.000
	MAX	0/L6	-307/L6	-2/L6	1/L6	0/L6	-16/L6	0.000/L6	-0.061/L6	-0.000/L6
400	TYPE=Rigid ANC;Tag=BOMBA 2									
	6 (SUS)	-3	-1077	-0	195	1	263	-0.000	-0.000	-0.000
	7 (SUS)	-3	-1077	-0	195	1	263	-0.000	-0.000	-0.000
	8 (SUS)	-3	-1077	-0	195	1	263	-0.000	-0.000	-0.000
	9 (SUS)	-3	-1077	-0	195	1	263	-0.000	-0.000	-0.000

Node	Load Case	FX N.	FY N.	FZ N.	MX N.m.	MY N.m.	MZ N.m.	DX mm.	DY mm.	DZ mm.
	MAX	-3/L6	-1077/L6	-0/L6	195/L6	1/L6	263/L6	-0.000/L6	-0.000/L6	-0.000/L6
440	TYPE=Rigid +Y; Rigid GUI w/gap;									
	6 (SUS)	0	-3127	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	0	-3127	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	8 (SUS)	0	-3127	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	9 (SUS)	0	-3127	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	MAX		-3127/L6					-0.000/L6	-0.000/L6	0.000/L6
460	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-2701	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	7 (SUS)	0	-2701	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	8 (SUS)	0	-2701	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	9 (SUS)	0	-2701	0	0	0	0	-0.000	-0.000	0.000
	MAX		-2701/L6					-0.000/L6	-0.000/L6	0.000/L6
510	TYPE=Rigid +Y;									
	6 (SUS)	0	-4441	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	7 (SUS)	0	-4441	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	8 (SUS)	0	-4441	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	9 (SUS)	0	-4441	0	0	0	0	0.000	-0.000	-0.000
	MAX		-4441/L6					0.000/L6	-0.000/L6	-0.000/L6
540	TYPE=Flex ANC; Tag=TANQUE 1									
	6 (SUS)	0	-307	1	1	0	16	0.000	-0.061	0.000
	7 (SUS)	0	-307	1	1	0	16	0.000	-0.061	0.000
	8 (SUS)	0	-307	1	1	0	16	0.000	-0.061	0.000
	9 (SUS)	0	-307	1	1	0	16	0.000	-0.061	0.000
	MAX	0/L6	-307/L6	1/L6	1/L6	0/L6	16/L6	0.000/L6	-0.061/L6	0.000/L6

Fonte: Adaptado de Caesar II, 2026.