

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica



“DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m³/h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS”

Tesis presentada por el bachiller:

Delgado Palma, Luis Alejandro

Para obtener el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico – Electricista

Asesor:

Ing. Castro Valdivia, Jorge

Arequipa- Perú

2018



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DE LA LINEA DE CARGA DE 90m³/h DE
GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE
CISTERNAS”**

Presentado por el Bachiller:

DELGADO PALMA LUIS ALEJANDRO

Nuestro **DICTAMEN** es:

Pase a sustentación.

OBSERVACIONES: - Algunas indicaciones en conducciones.
todo OK!

Arequipa, 21. Septiembre 2018.


ING. JORGE CASTRO VALDIVIA


ING. MARCO CARPIO RIVERA

DEDICATORIA

A mi Mama, Papa y hermanos por ser el motivo para seguir adelante inclusive en los momentos difíciles y por enseñarme que con esfuerzo, disciplina y dedicación se triunfa en todos los aspectos de la vida.

A mi tía Betsy, mis primas Patricia y Silvana con sus esposos Cesar y José respectivamente, por brindarme un segundo hogar en los momentos que más lo necesite.

A las personas que encontré en mi camino, algunas que ya se fueron y por las que están ahora a mi lado incondicionalmente.

Y a mis amigos de siempre con quienes luchamos por lograr nuestras metas, apoyándonos para cumplirlas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad para desenvolverme y luchar en cada de etapa de mi vida con dedicación y respeto.

A mi familia por impulsarme a crecer cada día más y por todo el apoyo recibido en todas las etapas de mi vida.

A los docentes universitarios por brindarnos y compartir el conocimiento y pasión de ingeniería.

A mis compañeros de universidad y de trabajo que hicieron, hacen y harán cada momento agradable.

A mi compañero de trabajo en varias empresas y proyectos e innumerables experiencias, Ángelo López Rojas por su apoyo en esta etapa.

INTRODUCCIÓN

Perú cuenta con reservas de gas natural, la más importante es Camisea, la cual cuenta con un plan de masificación para abastecer a varias regiones del país, así, la gran mayoría de la población tendrá acceso y se beneficiara de este recurso en los sectores industrial, energético, vehicular y residencial ya que su costo e impacto ambiental es menor respecto al petróleo y sus derivados (entre ellos el GLP).

Actualmente el gas natural se distribuye en los departamentos de Lima e Ica mediante el gasoducto, que su punto de origen es el departamento del Cusco, atravesando las regiones de Ayacucho, Huancavelica, Ica y Lima, hasta el punto de llegada para iniciar su distribución (City Gate) en Lurín.

Otro modo de transportar el gas natural y con menor costo de inversión es el transporte virtual, este puede abastecer de gas natural licuefactado (GNL) o comprimido (GNC) mediante módulos o cisternas acondicionadas adecuadamente y llevar el gas natural vía terrestre hasta su punto de llegada donde será recepcionado y posteriormente distribuido, convirtiendo el consumo de gas natural accesible y a bajo costo.

Es por esta razón que se construyó la estación del cargadero de cisternas criogénicas de GNL en Cañete, la cual cuenta con una línea de carga de 90 m³/h, donde se realizó el diseño y respectivos cálculos, que constituyen el análisis estático de esfuerzos y deflexión de la línea de carga para establecer un correcto ruteo de la línea y ubicación de soportes.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizará el diseño de la línea de carga de Gas Natural Licuado de un cargadero de cisternas donde se desarrollará al análisis estático de esfuerzos y flexibilidad de la línea de carga y a su vez determinar el número y tipos de soportes de la línea.

La línea de carga se ubica sobre racks de tuberías. Se debe verificar una correcta flexibilidad, según ASME B31.3, para no provocar esfuerzos fuera del rango admisible en la tubería previniendo posibles fallas. Para nuestro caso se suministrará gas natural licuado desde el punto de conexión 01 (TIE-IN 01) existente en planta, hasta el punto de conexión 02 (TIE-IN 02), con el skid de precarga el cual alimentará al skid de carga para abastecer a las cisternas. Se usará el diámetro hidráulico óptimo de 6" y 8", según los datos proporcionados por procesos, a lo largo del recorrido de dicha tubería.

Se indicará el tipo de tuberías, accesorios y aislamiento requeridos para el correcto desempeño del sistema. El caudal es de 90 m³/h y la distancia a transportar el fluido es de 500 m aproximadamente, en un terreno cuya topografía y el trazado de tuberías han sido proporcionados, ya que, la línea de carga recorrerá racks de tuberías existentes, donde también instalarán racks de tuberías nuevos para completar el recorrido de la tubería hasta el punto de conexión con el skid de precarga.

Palabras clave: Gas natural licuado, diseño.

ABSTRACT

In this work, the design of the Liquefied Natural Gas loading line of a truck loading facility will be carried out, where the static analysis of stresses and flexibility of the loading line will be developed, as well as determining the number and types of supports of the line .

The loading line is located on pipe racks. Correct flexibility must be verified, according to ASME B31.3, not provoke stress out of the allowable range in the pipeline preventing possible failures. For our case liquefied natural gas will be supplied from the connection point 01 (TIE-IN 01) existing in the plant, up to the connection point 02 (TIE-IN 02), with the preloading skid which will feed the loading skid to supply the trucks. The optimum hydraulic diameter of 6 "and 8" will be used, according to the data provided by processes, along the path of said pipe.

The pipe, the accessories and insulation required for the correct performance of the system will be indicate. The flow is 90 m³ / h and the distance to transport the fluid is approximately 500 m, in a land whose topography and pipe layout have been provided, since the loading line will go through existing pipe racks, where also new pipe racks will be install to complete the route of the pipe to the point of connection with the pre loading skid.

Key words: Liquefied natural gas, design.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | IV |
| RESUMEN..... | V |
| ABSTRACT..... | VI |
| 1. MARCO METODOLOGICO..... | 1 |
| 1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 1 |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL..... | 1 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 1 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN..... | 1 |
| 1.4. ALCANCES..... | 2 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL Y SUS APLICACIONES..... | 3 |
| 2.1.1. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL..... | 4 |
| 2.1.2. APLICACIONES DEL GAS NATURAL..... | 5 |
| 2.1.3. CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL..... | 5 |
| 2.2. PLAN DE RUTA PARA LA MASIFICACION DEL GAS NATURAL..... | 9 |
| 2.2.1. PROYECTO MASIFICACIÓN DEL USO DE GNL..... | 10 |
| 2.2.2. ESTACION DE CARGA PARA CAMIONES GNL..... | 12 |
| 2.3. REQUERIMIENTOS PARA LA LINEA DE CARGA GNL..... | 13 |
| 2.3.1. UBICACION DEL PROYECTO..... | 14 |
| 2.3.2. CONDICIONES DE SITIO..... | 14 |
| 2.3.3. CARGAS DE DISEÑO..... | 15 |
| 2.3.4. ESTÁNDARES Y CODIGOS APLICABLES DE DISEÑO DE TUBERÍAS..... | 16 |
| 3. MARCO TEÓRICO..... | 17 |
| 3.1. DEFINICIONES BÁSICAS..... | 17 |
| 3.1.1. MOMENTO DE INERCIA. (I)..... | 17 |
| 3.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD. (E)..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 3.1.3. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA. (α)..... | 17 |
| 3.1.4. COEFICIENTE DE POISSON. (ν)..... | 18 |
| 3.1.5. FACTOR DE FLEXIBILIDAD. (k) | 18 |
| 3.1.6. FACTOR DE INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZOS. (i) | 18 |
| 3.1.7. FACTOR DE REDUCCIÓN DE RANGO DE ESFUERZOS. (f). 19 | |
| 3.1.8. FLEXIBILIDAD Y RIGIDEZ. | 19 |
| 3.2. FUNDAMENTOS TEORICOS..... | 21 |
| 3.2.1. TUBERÍAS PARA TRANSPORTAR GNL..... | 21 |
| 3.2.2. AISLAMIENTO DE TUBERIA CRIOGENICA..... | 23 |
| 3.2.3. MECANISMOS DE SUJECIÓN DE TUBERÍAS CRIOGENICAS. | |
| 23 | |
| 3.2.3.1. ANCLAJES..... | 24 |
| 3.2.3.2. SOPORTES O APOYOS CRIOGENICOS. | 24 |
| 3.2.3.3. RESTRICCIONES O RESTRICTORES DE | |
| MOVIMIENTO | 25 |
| 3.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE | |
| TUBERÍAS. | 26 |
| 3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS CRÍTICAS. | 26 |
| 3.3.2. CRITERIO DE FLEXIBILIDAD. | 27 |
| 3.4. TIPOS DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS. | 27 |
| 3.4.1. ESFUERZOS AXIALES (S_a)..... | 27 |
| 3.4.2. ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES (S_H). | 29 |
| 3.4.3. ESFUERZOS RADIALES (S_R)..... | 30 |
| 3.4.4. ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO ($S_t \max$)..... | 30 |
| 3.4.5. ESTADO DE ESFUERZOS EN UNA TUBERÍA..... | 31 |
| 3.4.5.1. ESTADO TRIDIMENSIONAL. | 31 |
| 3.4.5.2. ESTADO BIDIMENSIONAL..... | 32 |
| 3.5. TEORÍAS DE FALLA. | 32 |
| 3.5.1. TEORÍA DE VON MISSES..... | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.5.2. TEORÍA DE TRESCA. | 33 |
| 3.6. CARGAS SEGÚN CÓDIGO ASME B 31.3..... | 33 |
| 3.6.1. CARGAS SOSTENIDAS. (<i>SL</i>)..... | 34 |
| 3.6.2. CARGAS DEBIDO A EXPANSIÓN TÉRMICA. (<i>SE</i>) | 34 |
| 3.6.3. CARGAS OCASIONALES | 36 |
| 3.6.3.1. FUERZA SÍSMICA PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES..... | 36 |
| 3.7. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS..... | 38 |
| 3.7.1. CRITERIO EMPÍRICO DE FLEXIBILIDAD SEGÚN ASME B31.3. | 38 |
| 3.7.2. MÉTODO DE LÍNEA DE INERCIA Y CENTRO ELÁSTICO..... | 39 |
| 3.8. CONSIDERACIONES SOBRE ARREGLOS Y SOPORTES EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS PARA UN ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD ... | 40 |
| 3.9. CONSIDERACIONES PARA UBICACIÓN DE SOPORTES | 41 |
| 3.10. CONSIDERACIONES PARA UBICACIÓN DE LAZOS DE EXPANSIÓN | 41 |
| 4. CÁLCULOS DE INGENIERÍA Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL | 44 |
| 4.1. DATOS DE ENTRADA PARA CASO PRÁCTICO..... | 44 |
| 4.2. CRITERIO EMPÍRICO DE FLEXIBILIDAD SEGÚN ASME B31.3. | 47 |
| 4.3. MÉTODO LÍNEA DE INERCIA Y CENTRO ELÁSTICO. | 49 |
| 4.4. CÁLCULO DE MÁXIMO SPAN CONSIDERANDO CARGAS OCASIONALES SEGÚN TEORÍA DE FALLA..... | 64 |
| 4.5. MÉTODO POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL..... | 66 |
| 5. DESARROLLO DEL PROYECTO | 69 |
| 5.1. INFORMACIÓN DE INGRESO PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FLEXIBILIDAD DE LÍNEA DE CARGA DE GNL..... | 69 |
| 5.1.1. CONDICIONES ATMOSFERICAS..... | 69 |
| 5.1.2. CARACTERISTICAS DE FLUIDO | 69 |
| 5.1.3. ESPECIFICACION DE MATERIAL DE TUBERIA..... | 70 |
| 5.1.4. ESPECIFICACION DE AISLAMIENTO..... | 70 |

| | |
|--|----|
| 5.1.5. RECORRIDO DE TUBERIA..... | 70 |
| 5.1.6. CODIGO APLICABLE | 70 |
| 5.1.7. CARGA SISMICA..... | 70 |
| 5.1.8. CARGA DE VIENTO | 71 |
| 5.2. DESARROLLO DEL CÁLCULO POR SIMULACION COMPUTACIONAL..... | 71 |
| 5.2.1. DESARROLLO DEL RECORRIDO DE LA TUBERÍA..... | 72 |
| 5.2.2. DETERMINACIÓN Y UBICACIÓN DE SOPORTES..... | 72 |
| 5.2.3. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO..... | 72 |
| 5.3. COMBINACIONES DE CARGA..... | 73 |
| 5.3.1. CASO BASICO DE CARGA ESTÁTICA..... | 73 |
| 5.3.2. CASO DE CARGA ESTÁTICA OCACIONAL..... | 74 |
| 5.4. ANÁLISIS DEL RECORRIDO INICIAL..... | 74 |
| 5.4.1. RESUMEN DE RESULTADOS..... | 75 |
| 5.4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... | 76 |
| 5.5. ANALISIS PARA RECORRIDO MODIFICADO..... | 79 |
| 5.5.1. RESUMEN DE RESULTADOS..... | 82 |
| 5.5.2. VERIFICACIÓN DE FUGAS EN LA BRIDA..... | 84 |
| 5.5.3. CARGAS MAXIMAS EN LA BRIDA DEL SKID DE PRECARGA | 85 |
| 5.5.4. FUERZAS ADMISIBLES EN LAS REACCIONES DE LOS SOPORTES..... | 85 |
| 5.6. ISOMÉTRICOS DE LA LINEA DE GNL..... | 86 |
| 5.7. INFORMACIÓN PARA CONTINUAR CON EL DISEÑO DEL CARGADERO DE GNL..... | 86 |
| CONCLUSIONES..... | 87 |
| RECOMENDACIONES | 88 |
| BIBLIOGRAFÍA | 89 |
| ANEXOS | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 2.1 RESERVAS PROBADAS DE PERÚ | 3 |
| TABLA 2.2 COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL | 4 |
| TABLA 2.3 PROPIEDADES PRINCIPALES DEL GAS NATURAL..... | 4 |
| TABLA 2.4 CONDICIONES DE SITIO | 14 |
| TABLA 2.5 CARGAS DE DISEÑO PARA LA LÍNEA DE CARGA DE GNL..... | 15 |
| TABLA 4.1 TABLA DE DATOS PARA CASO PRÁCTICO | 45 |
| TABLA 4.2 TABLA DE LONGITUDES Y CENTROS DEL CASO PRÁCTICO EN EL PLANO XY..... | 50 |
| TABLA 4.3 TABLA DE MOMENTO DE INERCIA POLAR Y MOMENTOS DE INERCIA EN LOS EJES X Y Y | 52 |
| TABLA 4.4 TABLA DE LONGITUDES Y CENTROS DEL CASO PRÁCTICO EN EL PLANO XZ..... | 52 |
| TABLA 4.5 TABLA DE MOMENTO DE INERCIA POLAR Y MOMENTOS DE INERCIA EN LOS EJES X Y Z | 53 |
| TABLA 4.6 TABLA DE LONGITUDES Y CENTROS DEL CASO PRÁCTICO EN EL PLANO YZ..... | 53 |
| TABLA 4.7 TABLA DE MOMENTO DE INERCIA POLAR Y MOMENTOS DE INERCIA EN LOS EJES Y Y Z | 54 |
| TABLA 4.8 MOMENTOS DE LOS NODOS EN CADA UNO DE LOS PLANOS..... | 61 |
| TABLA 4.9 ESFUERZOS POR CARGA DE EXPANSIÓN EN CADA PUNTO DEL CASO PRÁCTICO..... | 62 |
| TABLA 5.1 ESPECIFICACIÓN DE MATERIAL DE TUBERÍA | 70 |
| TABLA 5.2 ESPECIFICACIÓN DE AISLAMIENTO..... | 70 |
| TABLA 5.3 NODOS A EVALUAR..... | 77 |
| TABLA 5.4 METRADO DE SOPORTES PARA LÍNEA DE GNL..... | 85 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1.1 CISTERNA GNL..... | 2 |
| FIGURA 2.1 APLICACIONES ENERGÉTICAS DEL GAS NATURAL | 5 |
| FIGURA 2.2 CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL DE CAMISEA..... | 5 |
| FIGURA 2.3 GASODUCTOS OFFSHORE Y ONSHORE | 7 |
| FIGURA 2.4 TRANSPORTE VIRTUAL..... | 7 |
| FIGURA 2.5 TRANSPORTE DEL GAS NATURAL DE CAMISEA..... | 8 |
| FIGURA 2.6 DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL A USUARIOS FINALES | 9 |
| FIGURA 2.7 GASODUCTO SUR PERUANO | 9 |
| FIGURA 2.8 COSTO TOTAL DEL TRANSPORTE DE GAS NATURAL, GASODUCTOS VS. GNL | 10 |
| FIGURA 2.9 CONCESIONES NORTE Y SUROESTE DE GNL..... | 11 |
| FIGURA 2.10 MASIFICACIÓN DEL USO DEL GAS NATURAL UTILIZANDO GNL..... | 11 |
| FIGURA 2.11 VISTA DE UN CARGADERO DE CISTERNAS DE GNL..... | 12 |
| FIGURA 2.12 LAYOUT DE TUBERÍA DE GNL..... | 13 |
| FIGURA 2.13 UBICACIÓN DEL PROYECTO | 14 |
| FIGURA 3.1 FACTOR DE FLEXIBILIDAD E INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZOS DE UN CODO | 18 |
| FIGURA 3.2 FACTOR DE REDUCCIÓN DE RANGO DE ESFUERZOS..... | 19 |
| FIGURA 3.3 RESORTE TÍPICO DE ANÁLISIS | 20 |
| FIGURA 3.4 FLEXIBILIDAD EN UN RESORTE..... | 21 |
| FIGURA 3.5 RIGIDEZ DE UN RESORTE | 21 |
| FIGURA 3.6 CHARPY: ENERGÍA VS TEMPERATURA. | 22 |
| FIGURA 3.7 PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS RELEVANTES DEL ACERO 304.... | 22 |
| FIGURA 3.8 TIPOS DE ANCLAJES | 24 |
| FIGURA 3.9 SOPORTES Y COLGANTES (SHOES)..... | 25 |
| FIGURA 3.10 TIPOS DE RESTRICCIONES (GUIDES)..... | 26 |
| FIGURA 3.11 ESFUERZO LONGITUDINAL POR FUERZAS LONGITUDINALES..... | 28 |
| FIGURA 3.12 ESFUERZOS POR PRESIÓN INTERNA. | 28 |
| FIGURA 3.13 ESFUERZOS LONGITUDINALES POR MOMENTOS FLECTORES..... | 29 |
| FIGURA 3.14 ESTADO TRIDIMENSIONAL DE ESFUERZOS..... | 32 |
| FIGURA 3.15 ESTADO BIDIMENSIONAL DE ESFUERZOS..... | 32 |
| FIGURA 3.16 MOMENTOS EN UN CODO | 35 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 3.17 MOMENTOS EN UN ACCESORIO TIPO T | 35 |
| FIGURA 3.18 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE CON FUERZA SÍSMICA EN SENTIDO $-Z$ | 37 |
| FIGURA 3.19 REPRESENTACIÓN GENÉRICA DE UNA TUBERÍA..... | 39 |
| FIGURA 3.20 JUNTAS DE EXPANSIÓN FABRICADAS | 42 |
| FIGURA 3.21 LAZO TRIDIMENSIONAL | 43 |
| FIGURA 4.1 CASO PRÁCTICO PARA ANÁLISIS FORMAL..... | 45 |
| FIGURA 4.2 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA TUBERÍA SEGÚN EL MÉTODO EMPÍRICO DE ASME..... | 48 |
| FIGURA 4.3 DEFORMACIONES Y FUERZAS PRODUCIDAS POR LA DEFORMACIÓN POR EFECTOS TÉRMICOS. | 49 |
| FIGURA 4.4 CASO PRÁCTICO EN EL PLANO XY | 50 |
| FIGURA 4.5 CASO PRÁCTICO CON CENTRO DE GRAVEDAD EN EL PLANO XY | 51 |
| FIGURA 4.6 CASO PRÁCTICO CON CENTRO DE GRAVEDAD EN EL PLANO XZ..... | 53 |
| FIGURA 4.7 CASO PRÁCTICO CON CENTRO DE GRAVEDAD EN EL PLANO YZ..... | 54 |
| FIGURA 4.8 FUERZAS INDUCIDAS POR LA EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL PLANO XY | 56 |
| FIGURA 4.9 FUERZAS INDUCIDAS POR LA EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL PLANO XZ | 56 |
| FIGURA 4.10 FUERZAS INDUCIDAS POR LA EXPANSIÓN TÉRMICA EN EL PLANO YZ ... | 56 |
| FIGURA 4.11 PUNTO DE ESFUERZO MÁXIMO POR CARGA TÉRMICA EN CASO PRÁCTICO | 63 |
| FIGURA 4.12 CÁLCULO DE MÁXIMO SPAN SIN CARGAS OCASIONALES | 65 |
| FIGURA 4.13 CÁLCULO DE MÁXIMO SPAM CON CARGA OCASIONAL SÍSMICA | 66 |
| FIGURA 4.14 VISTA ISOMÉTRICA DE CASO DE ESTUDIO EN SOFTWARE CAESAR II | 68 |
| FIGURA 5.1 INTERFAZ PARA MODELADO DE TUBERÍAS | 71 |
| FIGURA 5.2 VISTA ISOMÉTRICA DE RECORRIDO INICIAL DE TUBERÍA..... | 72 |
| FIGURA 5.3 CARGAS DEFINIDAS DE INGRESO..... | 73 |
| FIGURA 5.4 CARGAS COMBINADAS EN CAESAR II | 74 |
| FIGURA 5.5 MÁXIMA DEFORMACIÓN DE RECORRIDO INICIAL | 76 |
| FIGURA 5.6 NODOS UBICADOS SOBRE SOPORTES DE CONCRETO EXISTENTES | 78 |
| FIGURA 5.7 NODOS UBICADOS SOBRE PUENTE RACK DE TUBERÍAS NUEVO 01 | 78 |
| FIGURA 5.8 NODOS UBICADOS SOBRE PUENTE RACK DE TUBERÍAS NUEVO 02 | 79 |
| FIGURA 5.9 NODOS UBICADOS SOBRE SOPORTES DE CONCRETO TRAMO 02 | 79 |
| FIGURA 5.10 LAZOS DE EXPANSIÓN UBICADOS SOBRE SOPORTES DE CONCRETO EXISTENTES..... | 80 |
| FIGURA 5.11 LAZO DE EXPANSIÓN EN RACK DE TUBERÍAS EXISTENTE | 80 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 5.12 LAZO DE EXPANSIÓN EN PUENTE RACK DE TUBERÍAS NUEVO 01 | 81 |
| FIGURA 5.13 LAZO DE EXPANSIÓN EN SOPORTES DE CONCRETO NUEVOS TRAMO 01 | 81 |
| FIGURA 5.14 LAZO DE EXPANSIÓN EN PUENTE RACK DE TUBERÍAS NUEVO 02 | 82 |
| FIGURA 5.15 VISTA ISOMÉTRICA DE RECORRIDO FINAL DE TUBERÍA | 82 |
| FIGURA 5.16 MÁXIMO DESPLAZAMIENTO DE RECORRIDO MODIFICADO | 84 |
| FIGURA 5.17 CARGAS MÁXIMAS EN BRIDA DE EQUIPO O SKID | 85 |



CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLOGICO

1.1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Para abastecer de gas natural licuado a las cisternas, es importante contar con un sistema de carga adecuado. Este sistema de carga comprende equipos de suministro y un sistema de tuberías que permite el transporte del gas natural licuado desde la zona de almacenamiento hasta su conexión con los equipo de suministro.

Es por esto que es importante tener un sistema de tuberías con un diseño adecuado, el cual nos permitirá asegurar su funcionamiento correcto. En este proyecto de tesis se desarrollara el diseño de la línea de carga de gas natural licuado mediante la simulación computacional, el cual nos permitirá tener un diseño óptimo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la línea de carga de 90 m³/h de GNL de un cargadero de cisternas donde se dará énfasis al análisis estático de esfuerzos y flexibilidad de dicha línea.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Diseño de la línea de carga de 90 m³/h.
- Desarrollar el modelo computacional de la línea en estudio.
- Análisis estático de esfuerzos y flexibilidad de tuberías sometidas a grandes esfuerzos.
- Determinar la ubicación de los Soportes criogénicos.
- Determinar la carga que generan las tuberías para consideración en el posterior diseño de las estructuras para soportes del sistema de tuberías.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El motivo por el cual se escogió este tema de tesis es para exponer la necesidad real del uso de la ingeniería mecánica en la solución de problemas de tuberías poco conocidos como la flexibilidad y a la importancia en este proyecto el cual forma parte del proyecto de masificación del gas natural.

Este análisis responde a la necesidad de realizar un diseño confiable de una tubería que no puede ser sometida a esfuerzos que excedan los valores máximos permitidos, los que podrían ocasionar una fractura en la tubería y generar un incidente fatal

Este análisis se ha desarrollado bajo las siguientes premisas:

- La importancia de un análisis de esfuerzos y de flexibilidad en proyectos de tuberías para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.
- Brindar seguridad a la instalación, personal, población y medio ambiente.
- Proyecto de inicio para la masificación del Gas Natural Virtual.

1.4. ALCANCES

Este trabajo constara de los siguientes alcances:

- Análisis estático de esfuerzos y flexibilidad de la línea de carga de gas natural licuado de un cargadero de cisternas. Para el cual se tendrá que contar con el juego de isométricos con medidas que ilustren la ubicación de las bridas de unión y los cambios de secciones a consecuencia de los accesorios.
- Ubicación de soportes, se debe contar con un modelo de la estructura del rack de tuberías y de la línea de carga, con el fin de conocer e indicar exactamente dónde se pueden ubicar los soportes que es parte importante del análisis.
- Se trabajara con tuberías de 6" y 8", debido a las conexiones en el TIE IN 01 (brida de 6" tubería existente) y en el TIE IN 02 (brida de 8" conexión con skid de precarga)
- Entregar información necesaria para él posterior diseño de estructuras.



Figura 1.1 Cisterna GNL

Fuente: Osinergmin – Medios de transporte del gas natural GNC y GN

CAPÍTULO II

2. ANTECEDENTES

2.1. GENERALIDADES DEL GAS NATURAL Y SUS APLICACIONES

(Osinerg, s.f.). El gas natural es un hidrocarburo compuesto principalmente por metano, etano, propano, butano, azufre, nitrógeno y dióxido de carbono. El gas natural cambia de estado durante todo el proceso que atraviesa desde que es extraído de su yacimiento hasta que llega a los usuarios finales, (Osinergmin, 2012) como:

- Gas Natural Seco (GNS): Es el gas natural extraído y procesado, obtenido de la Planta de Separación en estado gaseoso.
- Gas Natural Comprimido (GNC): Es el gas natural seco sometido a una gran presión, habitualmente entre 200 y 250 bar, en una planta de compresión. Este gas natural es principalmente metano.
- Gas Natural Licuefactado (GNL): es gas natural seco que ha sido procesado en una planta de licuefacción a $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$, en condiciones criogénicas, para obtenerlo en forma líquida.
- Líquidos de Gas Natural (LGN): Son los compuestos líquidos extraídos del gas natural durante su proceso de separación, de los cuales se pueden obtener productos intermedios (Condensado) y productos finales (Propano, Butano, Nafta y Diésel) después de un proceso de fraccionamiento y destilación.

El Perú cuenta con reservas de gas natural en Talara (Piura), Aguaytía (Ucayali) y Camisea (Cusco). Conociendo las ventajas que tiene el uso del gas natural, es importante

En la Tabla 2.1) se aprecia que el gas de Camisea cuenta con una reserva probada de 15.72 TCF, el cual representa el 97.72% de reservas probadas en el Perú.

| Zona | Reservas Probadas (TCF) | Porcentaje (%) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|
| Noroeste | 0.35 | 2.18 |
| Selva Central | 0.017 | 0.11 |
| Selva Sur | 15.72 | 97.72 |
| Total | 16.087 | 100.00 |

Tabla 2.1 Reservas probadas de Perú

Fuente: DGH – Reservas y Recursos de Gas Natural

Las reservas probadas de Perú representan el 0.2% de reservas probadas a nivel mundial, siendo la Federación Rusa el país con más reservas probadas con 1235 TCF (18,1% a nivel mundial), así también, Venezuela es el país a nivel sudamericano con más reservas probadas con 225 TCF (3,3% a nivel mundial). (BP, 2018).

Para el abastecimiento de gas natural, el principal objetivo debe ser distribuir energía limpia y a menor costo a los distintos lugares del territorio nacional que serán beneficiados con este hidrocarburo.

2.1.1. PROPIEDADES DEL GAS NATURAL.

El gas natural está compuesto principalmente por metano y varía según la ubicación del yacimiento. La Tabla 2.2 indica los principales componentes del gas natural proveniente de Camisea (Departamento de Cusco).

| Componente | Composición Química | Porcentaje Molar |
|--------------------|-------------------------------|------------------|
| Metano | CH ₄ | 89.37 |
| Etano | C ₂ H ₆ | 8.57 |
| Propano | C ₃ H ₈ | 0.65 |
| Nitrógeno | N ₂ | 1.06 |
| Dióxido de Carbono | CO ₂ | 0.32 |

Tabla 2.2 Composición del Gas Natural

Fuente: Techint – Distribución de Gas Natural en Lima y el Callao

El valor del gas natural depende de una de sus propiedades como es el poder calorífico, que es la cantidad de energía producida durante la combustión de una unidad de volumen de gas (Ramírez, 2005). En la Tabla 2.3 se indican las propiedades generales del gas natural extraído de Camisea.

| Propiedad | Condición | Valor | Unidad |
|---------------------------|--------------------------|---------|-------------------|
| Peso Molecular | | 17.7 | |
| Gravedad Especifica | | 0.61 | |
| Viscosidad Dinámica | a 15.6 °C, 1.013 bar (a) | 0.0109 | cp |
| Calor Especifico | a 15.6 °C, 1.013 bar (a) | 0.09971 | KJ/(Kg °C) |
| Poder Calorífico Superior | | 39.93 | MJ/m ³ |
| Poder Calorífico Inferior | | 36.04 | MJ/m ³ |
| Punto de Rocío | de 1 a 35 MPa | -10 | °C |

Tabla 2.3 Propiedades principales del Gas Natural

Fuente: Techint – Distribución de Gas Natural en Lima y el Callao

2.1.2. APLICACIONES DEL GAS NATURAL

(De Lama, 2014) El mercado de aplicación del Gas Natural se da en varios sectores como residencial, industrial, generación de electricidad y vehicular, con el mismo beneficio de bajo costo e impacto ambiental. En la Figura 2.1 se detalla las aplicaciones energéticas del Gas Natural.

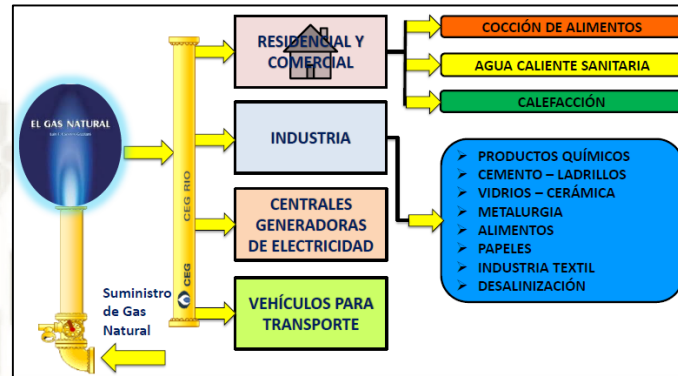


Figura 2.1 Aplicaciones Energéticas del Gas Natural

Fuente: Osinergmin – Distribución de Gas Natural

2.1.3. CADENA DE VALOR DEL GAS NATURAL.

(Osinerg, s.f.) Para que el gas natural de Camisea llegue a sus usuarios finales atraviesa por un conjunto de etapas y procesos, conocido como la cadena de valor del gas natural, que comprende en grandes rasgos la extracción, procesamiento, transporte y la distribución, ver Figura 2.2.

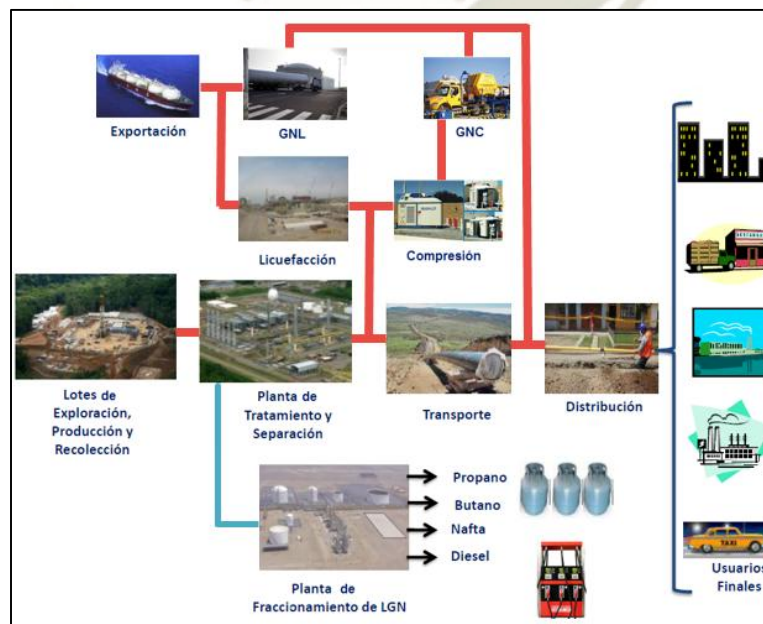


Figura 2.2 Cadena de Valor del Gas Natural de Camisea

Fuente: Osinergmin – Distribución de Gas Natural

2.1.2.1. EXTRACCION

El gas natural se extrae perforando los yacimientos ubicados a profundidades considerables del subsuelo, ascendiendo a la superficie mediante tuberías a presión. El gas natural tiene componentes contaminantes en su composición (N₂, CO₂, H₂S, Agua, etc.) los cuales son eliminados en una planta de separación posteriormente y también está compuesto por hidrocarburos que en condiciones atmosféricas se pueden condensar o licuificar.

2.1.2.2. TRANSPORTE

Una vez extraído el gas natural, es transportado vía ductos hacia la Planta de Separación, donde separan los líquidos del gas natural mediante procesos criogénicos y también se eliminan los contaminantes mediante procesos de deshidratación y remoción de gases ácidos. De esta manera se obtiene Gas Natural Seco (GNS) y Líquidos de Gas Natural (LGN), ambos son transportados pero por ductos independientes hacia los centros de procesamiento y/o consumo. Los ductos por donde el GNS es transportado se llaman “Gasoductos” ya que el fluido a transportar es gas natural en estado gaseoso y los ductos por donde el LGN es transportado se llaman “Poliductos” por qué se transporta diferentes compuestos en estado líquido.

(Osinermin, 2012) Los ductos para el transporte de gas natural pueden ser:

- Ducto convencional: Es el sistema mediante el cual se transporta los gases combustibles, compuesto por un conjunto de tuberías de acero generalmente de grandes diámetros sometidos a alta presión. Estos van desde el punto de origen hasta los centros que manejan su distribución. Este tipo de tuberías están enterradas generalmente a un metro de profundidad y cuando se requiere por temas constructivos o condiciones ambientales se construyen en la superficie. Los ductos construidos en tierra firme son conocidos como gasoductos “Onshore” y los ductos construidos sobre lecho marino son conocidos como gasoductos “Offshore”.



Figura 2.3 Gasoductos Offshore y Onshore

Fuente: Proyecto TURKSTREAM

- Ducto virtual: Es el sistema mediante el cual es posible el transporte terrestre, marítimo y fluvial de gas natural comprimido (GNC) y gas natural licuado (GNL) a lugares donde no llegan los ductos convencionales por diferentes motivos. Actualmente los métodos más empleados son los cisternas criogénicas (en camiones o vagones) y barcos metaneros.



Figura 2.4 Transporte Virtual

Fuente: Osinergmin – Desarrollo del Gas Natural

En el recorrido del gasoducto se instalan estaciones de compresión para elevar la presión para transportar eficientemente el gas natural desde las plantas de producción a los centros de almacenamiento y consumo, como se puede ver en la Figura 2.5).



Figura 2.5 Transporte del Gas Natural de Camisea

Fuente: Osinergmin – Desarrollo del Gas Natural

Así también los líquidos de gas natural son transportados y derivados a la Planta de Fraccionamiento para obtener diversos productos como GLP, Nafta y Diésel.

En la Planta de Licuefacción el gas natural es enfriado en condiciones criogénicas (-160 °C) para obtener gas natural en estado líquido, donde aproximadamente reduce su volumen en 600 veces. El gas natural en su estado líquido se puede cargar en buques metaneros o cisternas criogénicas.

2.1.2.3. DISTRIBUCIÓN

Para la distribución del gas natural transportado tiene como punto de llegada el City Gate, en este punto se regula la presión para el suministro a los usuarios finales conectados a la red de distribución, también se verifica la composición y flujo del gas natural en el sistema. Adicionalmente se agrega un odorizante conocido como “mercaptano” para identificar posibles fugas de gas natural. La red de distribución principal es el conjunto de tuberías de acero y polietileno instaladas subterráneamente.

Actualmente en Perú solo se distribuye en los departamentos de Lima e Ica el gas natural de Camisea que llega por el gasoducto, por otro lado, se distribuye GNC a nivel nacional debido a que ya existen clientes utilizando gas comprimido.

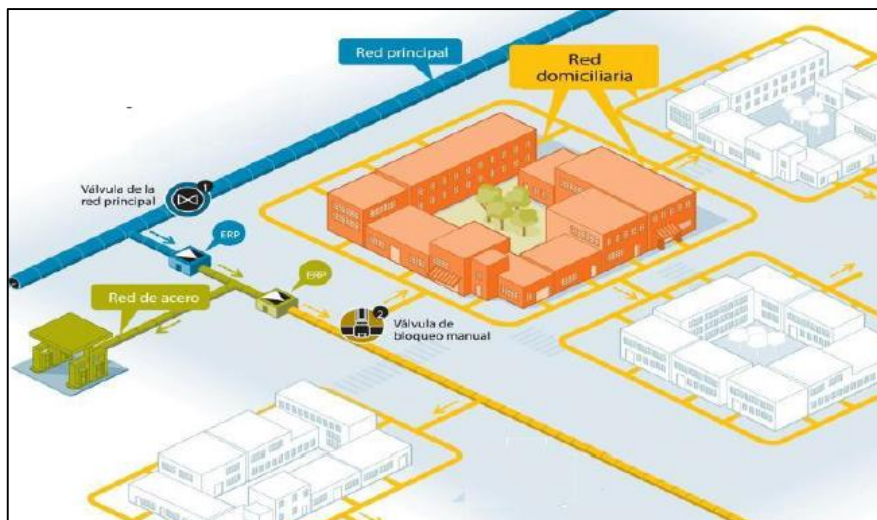


Figura 2.6 Distribución de gas natural a usuarios finales
Fuente: Cálidda - Sistema de Distribución de Gas Natural

2.2. PLAN DE RUTA PARA LA MASIFICACION DEL GAS NATURAL

El proyecto integral de masificación para el desarrollo del sur de Perú se centra en la construcción del Gasoducto Andino del Sur que conlleva una inversión de miles de millones y a esto se suma el tiempo que tome el proyecto hasta su operación, se debe tener en cuenta que para desarrollar un gasoducto de esta envergadura se requiere tener comprometido el gas a inyectar en el ducto y clientes que pueden consumirlo a largo plazo, y esto aún esta indefinido (grandes clientes). En la Figura 2.7 se puede apreciar las regiones que serían beneficiadas.



Figura 2.7 Gasoducto sur peruano

Fuente: Osinergmin - Sistemas de Transporte y Distribución de Gas Natural en el Perú

(Osinergmin, 2012) El costo de transporte del gas natural dependerá de la modalidad que se use para su medio de transporte y de la distancia que este tenga que recorrer, aparte de los costos que se requiera para el diseño, construcción y la gestión de cada proyecto. La Figura 2.8 muestra el contraste de los costos totales en las diferentes modalidades de transporte para el gas natural, ya sea por gasoductos convencionales (onshore y offshore) y por transporte virtual de GNL. Se identifica que el transporte por ductos para cortas distancias es más económico que el GNL, pero cuando se necesita transportar distancias largas, el GNL es más económico. También se puede apreciar que el transporte por ductos sobre lecho marino ‘offshore’ conlleva a un alto costo de transporte.

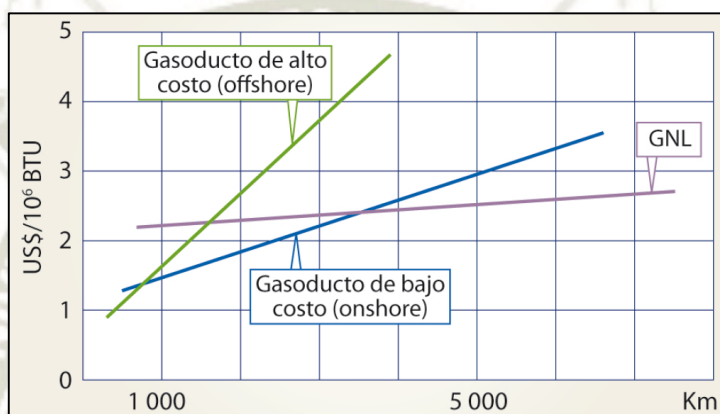


Figura 2.8 Costo total del transporte de gas natural, Gasoductos vs. GNL

Fuente: Osinergmin - Sistemas de Transporte y Distribución de Gas Natural en el Perú

La masificación radica en suministrar gas natural con sus beneficios económicos y ambientales a los consumidores residenciales (en especial en las zonas pobres) y a los vehículos (GNV), en el más breve plazo, para lo cual no se requiere de mucho volumen de gas. El gasoducto andino del sur no puede ser atendido en el corto plazo y con las experiencias de masificación del gas natural en Lima e Ica se propone y sustenta la masificación por ‘ducto virtual’ de GNL y GNC.

2.2.1. PROYECTO MASIFICACIÓN DEL USO DE GNL

Este proyecto consta de 2 concesiones, denominadas Concesión Norte y Concesión Sur las cuales distribuirán gas natural beneficiando a los departamentos de Lambayeque, La Libertad, Ancash, Cajamarca, Arequipa, Moquegua y Tacna. Se estima una inversión de US\$ 145 millones (Osinerg, s.f.) y US\$ 60 millones (Osinerg, s.f.) respectivamente. Ver Figura 2.9.



Figura 2.9 Concesiones Norte y Suroeste de GNL
Fuente: Osinergmin – Distribución del Gas Natural

Ambas concesiones cumplirán con los siguientes lineamientos:

- Transporte virtual de GNL vía terrestre desde la planta de licuefacción hasta los puntos de recepción en las ciudades indicadas respectivamente.
- Regasificación del GNL recepcionado contando con una estación reguladora y de medición.
- Suministro de gas natural a los usuarios finales por la red de ductos de distribución.

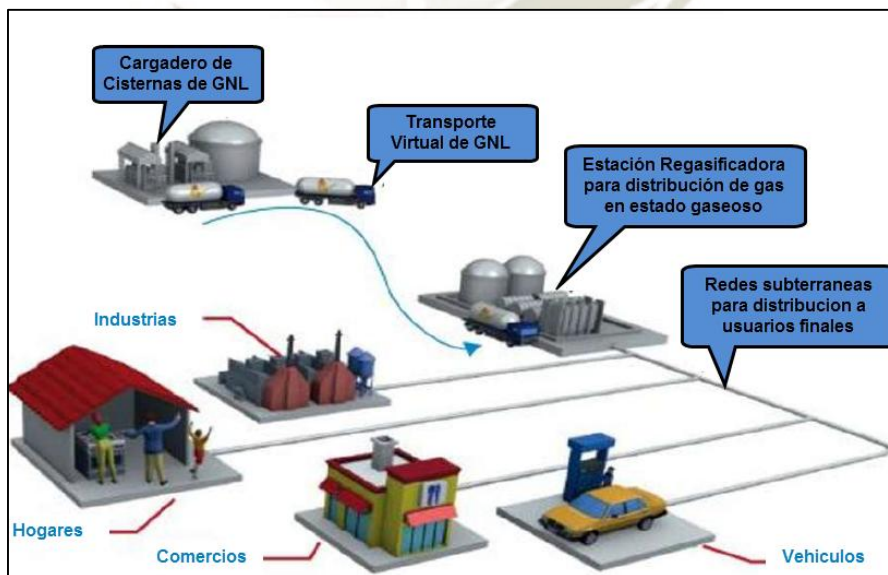


Figura 2.10 Masificación del uso del gas natural utilizando GNL

Fuente: OSINERGMIN – Masificación del Uso de Gas Natural a Nivel Nacional Concesión Suroeste

Para ambas concesiones es prioridad el abastecimiento de GNL a cisternas, por esta razón es necesario construir un Cargadero o una Estación de Carga de GNL.

2.2.2. ESTACION DE CARGA PARA CAMIONES GNL

La carga de GNL a cada cisterna se realizará utilizando bombas de recirculación ya existentes en la planta de licuefacción a través de un sistema de nuevas tuberías de GNL, se cargara en estado líquido a -160°C , las principales características del cargadero de cisternas son (Osinerg, s.f.):

- Capacidad Nominal : 240,000 gpd (19,2 MMscfd)
- Bahías de carga : 1
- Método de carga : Conexión por mangueras criogénicas.
- Tasa de carga : 90 m³/hr



Figura 2.11 Vista de un Cargadero de Cisternas de GNL

Fuente: Bahía de Bizkaia Gas (BBG)

La estación de carga de cisternas cuenta con una inversión estimada de US\$ 15 millones, incluye el desarrollo y procura de un conjunto de tuberías, estructuras, sistemas contra incendios, detección de gas, control y comunicaciones.

En este proyecto de tesis se desarrollara el diseño de la línea de carga de GNL para su correcto recorrido, espaciamiento y tipo de soportes, y finalmente se obtendrá las cargas que la tubería transmite a las estructuras de soporte como racks de tuberías y soportes de concreto.

2.3. REQUERIMIENTOS PARA LA LINEA DE CARGA GNL

La instalación de la línea de carga se hará con tubería nueva en una planta existente por lo que recorrerá sobre racks de tuberías y soportes de concreto existentes desde el punto del TIE IN 01 hasta el TIE IN 02 para la conexión con el skid de precarga, también se instalarán 2 puentes racks de tuberías nuevos y soportes de concreto nuevos para el ruteo adecuado de la tubería. Así se evitará las diferentes interferencias en la planta existente. Ver Figura 2.12 y ANEXO 01.

En esta tesis no se contempla la definición del recorrido ni el diseño que tendrá los puentes racks de tuberías ya que esto se hace mediante una conciliación con las diferentes disciplinas durante el diseño. El diseño de los racks cuenta con una geometría establecida, con elevaciones y dimensiones de planta según se requiera. Cabe resaltar que el diseño estructural de un rack de tuberías se desarrolla con las fuerzas gravitacionales, fuerzas sísmicas, fuerzas por viento y fuerzas de tuberías en operación, por lo que es importante calcular los esfuerzos que la tubería genera a lo largo de todo su recorrido para que los diseñadores estructurales las tomen en cuenta y así obtener los esfuerzos a los que los racks de tuberías existentes y nuevos serán sometidos.

El diseño mecánico de tuberías considerará líneas con presencia de fluido bajo condiciones criogénicas, soportarán una temperatura de diseño de -160°C , contarán con aislamiento y las conexiones deben ser soldadas. Las conexiones con bridas (ANSI) se deben minimizar, para evitar posibles fugas en operación.

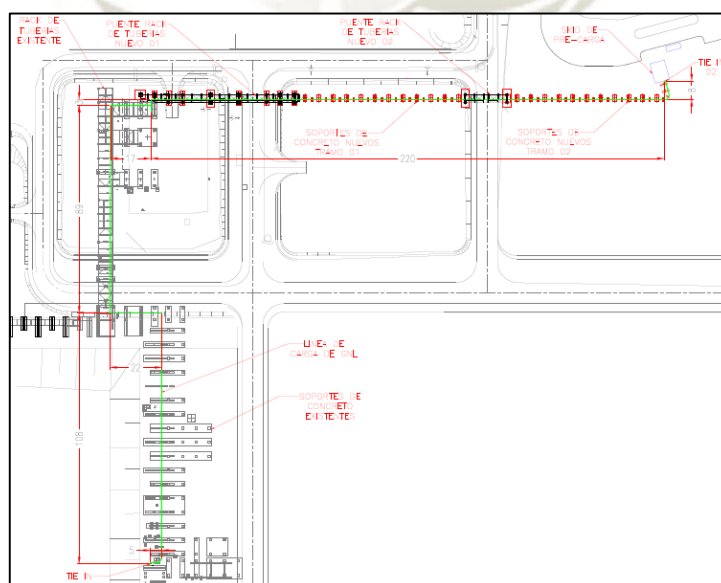


Figura 2.12 Layout de Tubería de GNL

Fuente: Elaboración Propia

2.3.1. UBICACION DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en la provincia de Cañete, distrito de Nuevo Imperial, a 150 msnm, en las coordenadas geográficas: 13° 04' Sur y 76° 20' Oeste, en la costa del pacifico de Perú en un área de alta actividad sísmica, no tiene precipitaciones, pero tiene una humedad muy alta. Por proximidad al mar, la sal estará presente en la atmósfera.



Figura 2.13 Ubicación del Proyecto

Fuente: Tema - Seguridad y Medio Ambiente

2.3.2. CONDICIONES DE SITIO

A continuación en la Tabla 2.4 se presenta las condiciones de sitio:

| Condición | Dato | Unidad |
|-----------------------|------|--------|
| Temperatura min. | 11 | ° C |
| Temperatura promedio | 18 | ° C |
| Temperatura máx. | 29 | ° C |
| Precipitación por mes | 10 | mm |
| Humedad Relativa max. | 100 | % |
| Humedad Relativa min. | 60 | % |
| Viento (Categoría C) | 40.2 | m/s |

Tabla 2.4 Condiciones de Sitio

Fuente: Indox Cryo Energy

2.3.3. CARGAS DE DISEÑO

La línea de carga y los soportes estarán sometidos en conjunto a diferentes cargas las cuales pueden impactar durante la fase de construcción y montaje, también existen cargas por circunstancias operacionales o cargas por expansión térmica (Gotera, s.f.). Estas cargas se analizarán en los capítulos posteriores luego de explicar sus diferencias y distintos criterios de cálculo.

A continuación, se lista las cargas de diseño que se consideran para el diseño de tuberías.

- Carga debido a la presión en la condición más crítica, interna o externa a la temperatura coincidente con esa condición durante la operación normal.
- Peso total, el cual es el peso de la tubería incluyendo los pesos de los accesorios, aislamiento, chaqueta y cualquier carga permanente que incremente el peso en la línea como el fluido de prueba o de proceso.
- Cargas debido a la expansión térmica, ya sea dilatación o contracción.
- Efectos locales debido a las reacciones en los soportes.
- Cargas por efecto del viento y/o nieve, ejercidas sobre el sistema de tuberías.
- Cargas sísmicas, que deberán ser consideradas para aquellos sistemas ubicados en áreas con probabilidad de movimientos sísmicos.
- Cargas por impacto u ondas de presión, tales como los efectos del golpe de ariete, caídas bruscas de presión o descarga de fluidos.
- Vibraciones excesivas inducidas por pulsaciones de presión, por variaciones en las características del fluido, por resonancia causada por excitaciones de equipos o del viento.

Las cargas dinámicas no serán consideradas ya que forman parte de un análisis dinámico y en este proyecto sólo se realizarán análisis estáticos.

En la Tabla 2.5 se presenta las principales cargas de diseño que tendrá la línea de carga de GNL:

| Características | Diseño | Operación |
|-----------------|--------|-----------|
| Temperatura | -190°C | -160.2°C |
| Presión | 19 bar | 4.5 bar |

Tabla 2.5 Cargas de Diseño para la línea de carga de GNL

Fuente: Elaboración Propia

2.3.4. ESTÁNDARES Y CODIGOS APLICABLES DE DISEÑO DE TUBERÍAS.

- ASME B31.3 Tubería de proceso
- ASME B16.5 Bridas de tubería y accesorios bridados
- ASME B16.9 Accesorios de soldadura forjados hechos en fábrica
- ASCE 7 Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras



CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

3.1. DEFINICIONES BÁSICAS.

(Gumaro, 2010) Las siguientes definiciones están estructuradas para orientarlas específicamente a tuberías y relacionarlas con el código ASME B31.3.

3.1.1. MOMENTO DE INERCIA. (I)

El momento de inercia es la propiedad de la resistencia al giro de una sección respecto a un eje diametral en donde intervienen la geometría y el tamaño.

$$I = 0.0491(D^4 - d^4) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Dónde: D = Diámetro exterior
 d = Diámetro interior

3.1.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD. (E)

Conocido también como módulo de Young, el módulo de elasticidad es un factor que indica la rigidez del material de tubería y se define como la pendiente en la zona elástica de su diagrama de esfuerzo – deformación. A mayor elasticidad, mayor rigidez del material. El módulo de elasticidad decrece conforme incrementa la temperatura, para el caso de análisis de flexibilidad de tuberías es importante ya que se analiza la modificación del material (propiedades y geometría) generados por los gradientes de temperaturas. Los valores para este parámetro están listados en la tabla C-6 del apéndice C según código ASME B31.3. Ver ANEXO 02.

3.1.3. COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA. (α)

El coeficiente de expansión térmica es un factor que relaciona unidades longitudinales por deformación y por variación de temperatura. Se expresa en m/m °C. Para tuberías de distintos materiales, los valores de este coeficiente ya han sido tabulados y se encuentran en el apéndice C del código ASME B31.3. La tabla C-1 indica la deformación total en pulgadas por cada 100 pies y la tabla C-3 indica el coeficiente propiamente dicho. Ver ANEXO 03 y 04.

3.1.4. COEFICIENTE DE POISSON. (v)

La deformación de una estructura cristalina en una dirección es positiva o negativa, debido a una fuerza que provoca la deformación y ajuste de medidas del cuerpo en las direcciones perpendiculares a esta fuerza. El coeficiente de Poisson es la relación negativa entre el esfuerzo de ajuste y el esfuerzo de la tensión, es constante para todos los materiales de las tuberías y no depende de la temperatura. P para cálculos de flexibilidad su valor es 0.3 para todas las temperaturas y materiales.

3.1.5. FACTOR DE FLEXIBILIDAD. (k)

El factor de flexibilidad es una propiedad neta de los accesorios en los sistemas de tuberías (codos y tee's). En el caso de un codo al ser sometido a fuerzas se deformará más que una tubería recta, ya que los extremos del codo se deforman adoptando formas ovoides. Por esto se ha considerado una longitud equivalente modificada la cual se define como “Lv” que se usa para determinar el esfuerzo que excede los valores máximos permitidos por restricción de expansión y se complementa con el factor de Intensificación de Esfuerzos. Entonces con deformaciones incrementadas se ocasionan flexibilidades incrementadas.

$$L_v = 1.5708 * R * k \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Dónde: R= Radio Exterior

El código ASME B31.3 define a “k” en la tabla D300 del apéndice D como se muestra en Figura 3.1. Ver ANEXO 05.

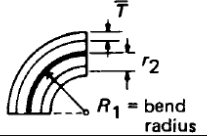
| Description | Flexibility Factor, k | Stress Intensification Factor [Notes (2), (3)] | | Flexibility Characteristic, h | Sketch |
|--|-------------------------|--|-----------------------|---------------------------------|---|
| | | Out-of-Plane, i_o | In-Plane, i_i | | |
| Welding elbow or pipe bend [Notes (2), (4)-(7)] | $\frac{1.65}{h}$ | $\frac{0.75}{h^{2/3}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{\bar{T} R_1}{r_2^2}$ |  |

Figura 3.1 Factor de Flexibilidad e Intensificación de Esfuerzos de un Codo

Fuente: Código ASME B31.3.

3.1.6. FACTOR DE INTENSIFICACIÓN DE ESFUERZOS. (i)

Como se indicó anteriormente, los accesorios ocasionan efectos de comportamiento diferentes que con los tramos de tuberías rectas, es así que se usa un factor de

intensificación para corregir dicha desviación. Para el caso de un codo se muestra en la Figura 3.1 Factor de Flexibilidad e Intensificación de Esfuerzos de un Codo. La tabla completa se encuentra en el ANEXO 05.

Observaremos su aplicación en la ecuación 3.18.

3.1.7. FACTOR DE REDUCCIÓN DE RANGO DE ESFUERZOS. (f)

Es un factor que depende de la cantidad de ciclos de cambios de temperatura durante la vida de operación del sistema. La Figura 3.2 muestra la relación y la forma de determinar dicho factor. Este factor es usado en el rango permisible de tensiones de desplazamiento el cual se verá más adelante en el subcapítulo 3.5.2.

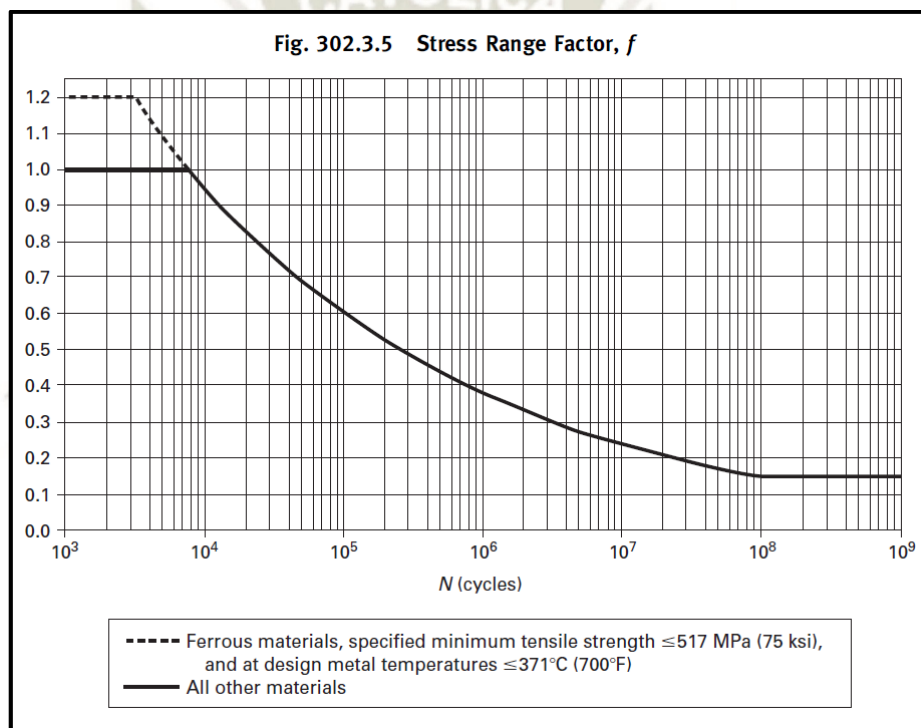


Figura 3.2 Factor de Reducción de Rango de Esfuerzos

Fuente: Código ASME B31.3

3.1.8. FLEXIBILIDAD Y RIGIDEZ.

Definiremos correctamente estos conceptos ya que son importantes para entender el comportamiento de las tuberías y del porque se realiza su estudio.

Para este caso analizaremos los casos de flexibilidad y rigidez en un resorte con las características definidas en la Figura 3.3.

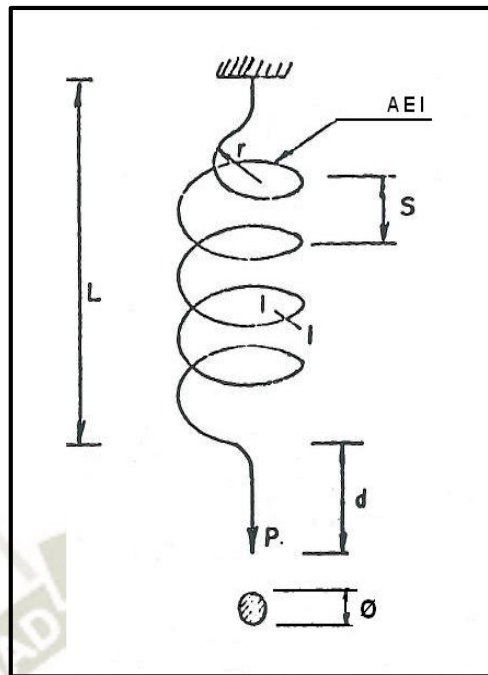


Figura 3.3 Resorte Típico de Análisis

Fuente: Gumaro, L. Manual de Análisis de Esfuerzos en Sistemas de Tuberías

Dónde:

- L = Longitud de resorte
- r = Radio de las hélices
- A = Área de la barra
- E = Módulo de elasticidad del material
- I = Momento de inercia de la barra
- S = Paso de la hélice
- P = Fuerza aplicada
- d = Desplazamiento producido
- θ = Diámetro de la barra

Para el resorte, flexibilidad (F) es el desplazamiento que produce una fuerza de valor unitario como se ve en Figura 3.4, mientras que rigidez (k) es la fuerza necesaria para un desplazamiento de valor unitario como se ve en la Figura 3.5.

Ambos conceptos dependen de las propiedades del material y de sus características geométricas, suponiendo que solo hablamos de un tipo de acero, la flexibilidad y rigidez dependerá de las características geométricas. Entonces si tenemos dos resortes del mismo material sometidos a una fuerza P ; el que tenga un mayor desplazamiento va a ser el que posea más flexibilidad y esto es debido a sus propiedades geométricas.



Figura 3.4 Flexibilidad en un Resorte

Fuente: Gumaro, L. Manual de Análisis de Esfuerzos en Sistemas de Tuberías

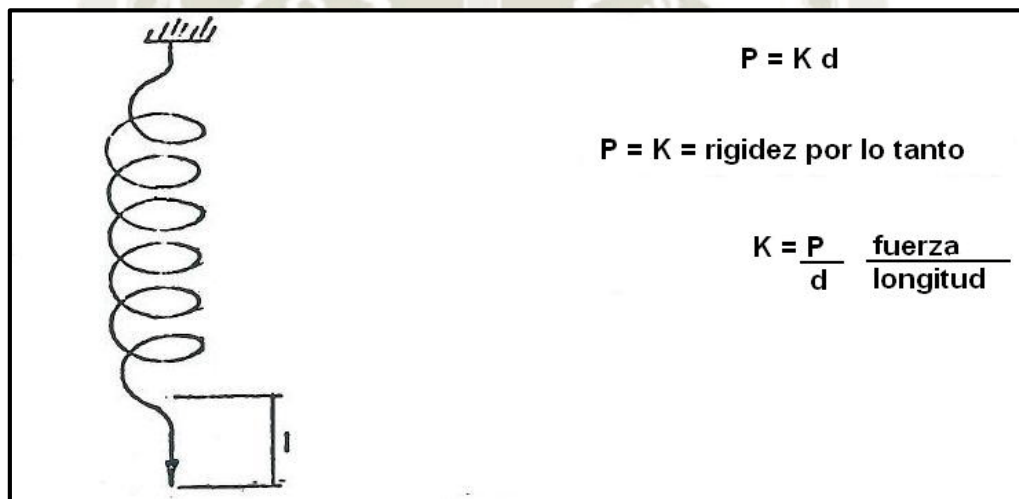


Figura 3.5 Rigidez de un Resorte

Fuente: Gumaro, L. Manual de Análisis de Esfuerzos en Sistemas de Tuberías

3.2. FUNDAMENTOS TEORICOS.

3.2.1. TUBERÍAS PARA TRANSPORTAR GNL.

Para el transporte de gas natural licuado, se debe considerar que el fluido se encuentra en estado líquido bajo condiciones criogénicas. Es así, que la tubería requiere propiedades que deben de ser tomadas en cuenta para la selección del material, es importante que el material de las tuberías tenga excelentes propiedades mecánicas a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los aceros inoxidables cuentan con propiedades únicas que los hacen muy útiles para trabajos en temperaturas criogénicas, estos presentan una resistencia mecánica más alta que a temperatura ambiente, mientras que la degradación de su dureza es mínima (Cuevas, 2008).

En la Figura 3.6 podemos ver cómo se comporta el acero inoxidable. Los aceros 304 y 316, durante un ensayo realizado con el método de Impacto Charpy, se aprecia que el material mantiene constantemente sus propiedades mecánicas a diferentes temperaturas.

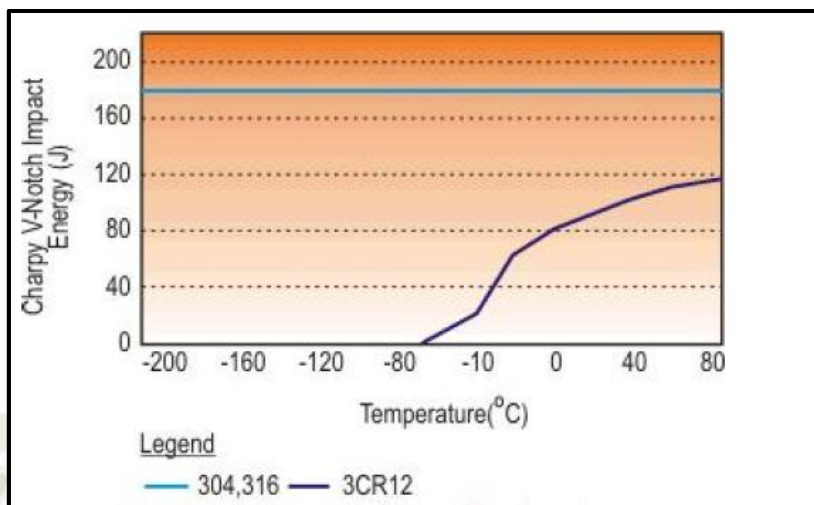


Figura 3.6 Charpy: Energía vs temperatura.

Fuente: Universidad de Chile - Instalaciones Portuarias.

Es así que los aceros inoxidables son comúnmente usados en aplicaciones de transporte de GNL, para este proyecto se utilizará un acero ASTM A312 TP304/304L, podemos ver sus propiedades en la Figura 3.7.

| Grade | UNS Designation | Tensile Strength, min ksi [MPa] | Yield Strength, min ksi [MPa] |
|--|-----------------|------------------------------------|----------------------------------|
| TP304 | S30400 | 75 [515] | 30 [205] |
| TP304L | S30403 | 70 [485] | 25 [170] |
| TP304H | S30409 | 75 [515] | 30 [205] |
| ... | S30415 | 87 [600] | 42 [290] |
| TP304N | S30451 | 80 [550] | 35 [240] |
| TP304LN | S30453 | 75 [515] | 30 [205] |
| ... | S30600 | 78 [540] | 35 [240] |
| ... | S30615 | 90 [620] | 40 [275] |
| ... | S30815 | 87 [600] | 45 [310] |
| Elongation in 2 in. or 50 mm (or 4D), min, % | | Longitudinal | Transverse |
| All Grades except S31050 and S32615 | | 35 | 25 |
| S32615, S31050 | | 25 | ... |
| S31277, N08925 | | 40 | ... |
| N08367, N08020, N08800, N08810, N08811 | | 30 | ... |

Figura 3.7 Propiedades mecánicas y térmicas relevantes del acero 304

Fuente: ASTM-A312.

Según la especificación de planta, para líneas de GNL se usa tuberías inoxidable ASTM A312, tipo 304/304L.

Así también, los accesorios y válvulas serán de acero inoxidable, clase 150 y las conexiones pueden ser bridas y soldadas (soldadas de preferencia).

3.2.2. AISLAMIENTO DE TUBERIA CRIOGENICA.

Para el transporte de GNL, además de la importancia de las propiedades de la tubería, también debemos tener un aislante que impida grandes ganancias de calor desde el exterior. Mantener la temperatura adecuada en el transporte de GNL es crucial para lo cual se usará material de conductividad térmica baja, y que a la vez sea fácil de instalar y reparar (Cuevas, 2008).

Según la especificación de planta para líneas criogénicas se usará aislamiento Tipo 10, sistema que consiste en una espuma de poliuretano con un recubrimiento de fibra de vidrio epóxica con un espesor de 5,5 mm, además con una combinación de una chaqueta y barrera de vapor.

- Ganancia de calor máxima: $25W / m^2$
- Temperatura ambiente de verano de diseño: $24 ^\circ C$
- Velocidad del viento: $2.4 m / s$
- Emisividad del acabado del aislamiento: 0,85

El acabado retardante de vapor debe ser a base de solvente, retardante de fuego, masilla aplicada en dos capas, para un espesor de película seca total de 3,3 mm como mínimo. La masilla se reforzará con un material sintético, densidad máxima de malla de 8×8 .

Y el material de revestimiento para aislamiento puede ser de aluminio, acero recubierto de aluminio, aleación de zinc y aluminio acero recubierto, acero inoxidable o fibra de vidrio epóxica.

3.2.3. MECANISMOS DE SUJECIÓN DE TUBERÍAS CRIOGENICAS.

(Peng, 2009) Los diferentes mecanismos de sujeción varían de acuerdo a su función y el modo de restringir los 6 grados de libertad que poseen. Los términos que se usaran a continuación son compatibles con el código ASME.

3.2.3.1. ANCLAJES

Los anclajes son sistemas de sujeción que restringen adecuadamente los 6 grados de libertad del tramo de tubería a sujetar. Para cálculos de flexibilidad las uniones bridadas entre tuberías de diferentes materiales se consideran como ancladas, ya que en los cambios de materiales o sistemas bridados se colocan soportes con U-bolts o mecanismos que cumplan la función de un anclaje.

Un caso similar sucede con las conexiones a equipos; ingresos y salidas de tanques, o cualquier conexión de equipos que no generan grandes vibraciones. Por estos motivos es que cuando se realiza un análisis de flexibilidad se considera que el inicio y fin de la tubería se encuentra anclada.

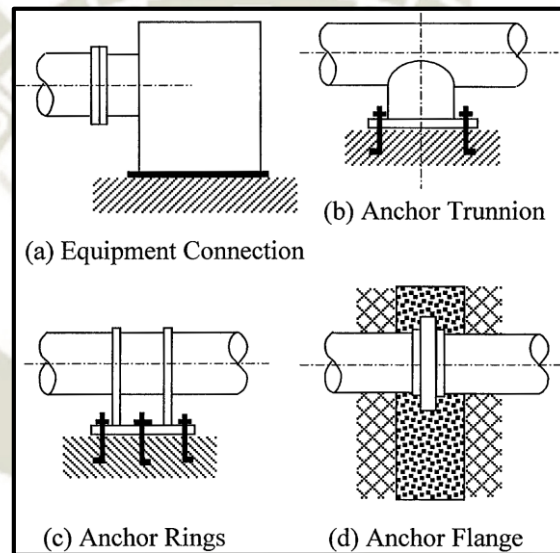


Figura 3.8 Tipos de Anclajes

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

3.2.3.2. SOPORTES O APOYOS CRIOGENICOS.

Sostienen una porción del peso de la tubería y cargas verticales como pesos de accesorios. Estos soportes siempre se encuentran por debajo de la tubería trabajando a compresión.

En cuanto a los tipos de soportes, existen diferentes clases dependiendo de características específicas.

- Soportes durmientes o deslizantes: Estos soportes no están fijos y la única restricción es a movimientos horizontales, en el caso de los durmientes sería la de la fricción del apoyo con la estructura base que puede ser de acero o de concreto y en el caso de los

deslizantes podrían tener un sistema de rodamientos los cuales son llamados también patines.

- Soportes Rígidos: Estos soportes son llamados rígidos porque se mantiene como un anclaje respecto a la estructura de apoyo, pero esto no impide que la estructura de apoyo pueda tener una flexibilidad inherente.
- Soportes de resistencia variable y constantes: Estos soportes usualmente son accionados por resortes cuyas características mecánicas permiten hacer que las constantes de rigidez de los resortes sean constantes o variables.

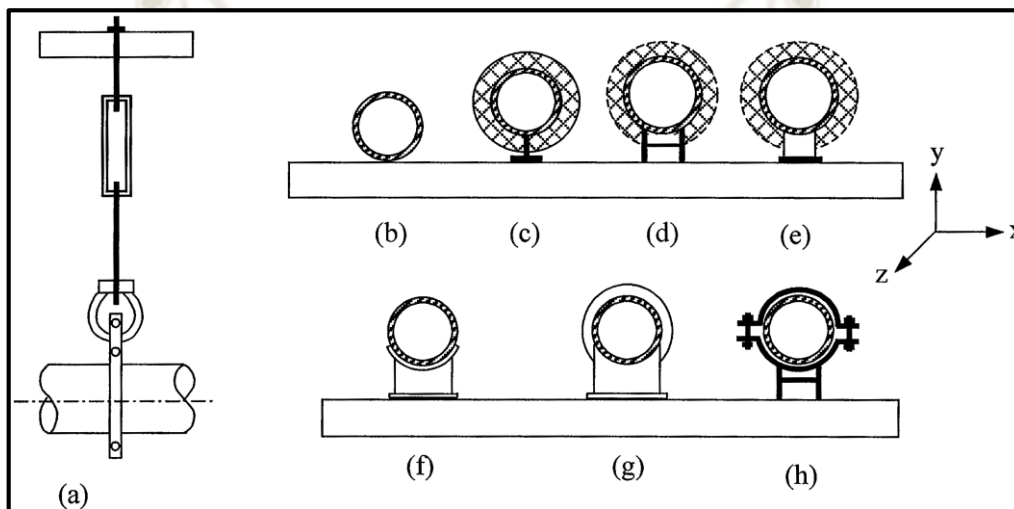


Figura 3.9 Soportes y colgantes (Shoes)

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

3.2.3.3. RESTRICCIONES O RESTRICTORES DE MOVIMIENTO

Son los mecanismos que impiden, resisten o limitan los movimientos de desplazamientos o rotaciones en la tubería. Estos usualmente se usan con apoyos que soportan el peso de la tubería y existen diferentes tipos de restricciones según los grados que limita como:

- Guías: son usadas solo para permitir un movimiento longitudinal de las tuberías.
- Topes simples en una dirección o topes dobles: estos se distinguen por las restricciones en el sentido del desplazamiento. Si no permite el desplazamiento en una de las direcciones horizontales se conoce como tope simple, en el caso de que no permita el desplazamiento en ninguna de las dos direcciones horizontales se conoce como tope doble.

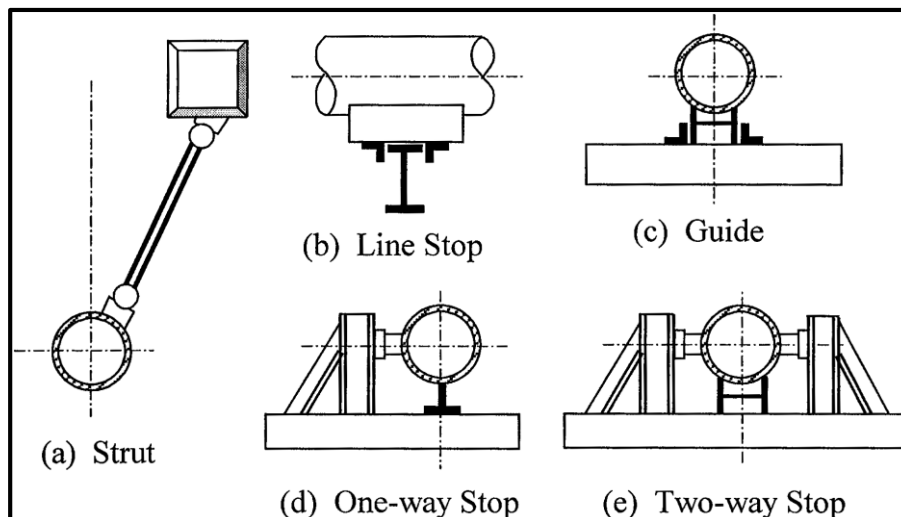


Figura 3.10 Tipos de Restricciones (Guides)

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

3.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS.

(Urrieta, 2009) El análisis de esfuerzos y flexibilidad de una tubería determina si un sistema cuenta con la suficiente capacidad de absorber las cargas que ejercen sobre este. Las cargas que ejercen sobre el sistema de tuberías son el propio peso de la tubería y accesorios; esfuerzos generados por el sistema como la presión interna, temperatura, vibraciones y temblores. Uno de los factores que impacta en la flexibilidad del sistema es la disposición geométrica, es decir el recorrido de la tubería, pero se corrige con la correcta configuración de accesorios, soportes, anclajes, etc.

Cuando se realiza un análisis de flexibilidad, también se calculan las reacciones en los puntos de apoyo que tienen como sujeciones y a su vez esto ayuda a seleccionar los grados de libertad con las que debe de contar el sistema en cada punto o nodo en estudio. Por lo que se logra proporcionar un apoyo adecuado, suficiente flexibilidad y evitar que las tuberías ejerzan de forma excesiva sobre las conexiones con los equipos.

3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LÍNEAS CRÍTICAS.

(Gumaro, 2010) El análisis de flexibilidad asegura un correcto funcionamiento del sistema de tuberías pero no es necesario hacer a todas las tuberías ya que depende de las condiciones de operación (temperatura, presión, ubicación, diámetro y material de la tubería), para esto se hace una clasificación de líneas críticas que requieren de un análisis de esfuerzos y flexibilidad:

- Líneas con diámetro mayor o igual a 3'' y que se encuentren conectados a equipos con sistemas rotatorios como bombas, compresores, turbinas, etc.
- Líneas que tengan un diámetro mayor o igual a 3'' y su temperatura de diseño sea mayor a 93.3 °C o 200 °F.
- Líneas que transporten fluidos peligrosos como gases peligrosos, productos inflamabilidad, explosivos y todos los fluidos que tengan la Categoría M en la norma ASME B 31.3.
- Líneas que se conecten a equipos y que requiera conocer las reacciones en su punto de conexión para su diseño.
- Líneas con diámetro mayor o igual a ½'' con temperaturas de diseño por debajo de -17.8 °C o aproximadamente equivalente a 0 °F.

3.3.2. CRITERIO DE FLEXIBILIDAD.

(The American Society of Mechanical Engineers [ASME], 2010) Según el código ASME B 31.3 en el párrafo 319.4 indica que no es necesario hacer un análisis matemático si se cumple con las condiciones y el cálculo simplificado explicado en el subcapítulo 3.6.

3.4. TIPOS DE ESFUERZOS EN TUBERÍAS.

(Peng, 2009) Las fórmulas mostradas a continuación están simplificadas para ser usadas específicamente con tuberías.

3.4.1. ESFUERZOS AXIALES (S_a).

Los esfuerzos longitudinales en una tubería son la suma de tres esfuerzos.

El primero es el producto de las fuerzas longitudinales paralelas al eje de la tubería, como se puede ver en la Figura 3.11 y se calcula de la siguiente manera:

$$S_a = \frac{F_L}{A_p} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Dónde: F_L = Fuerza Longitudinal
 A_p = Área transversal efectiva de la tubería

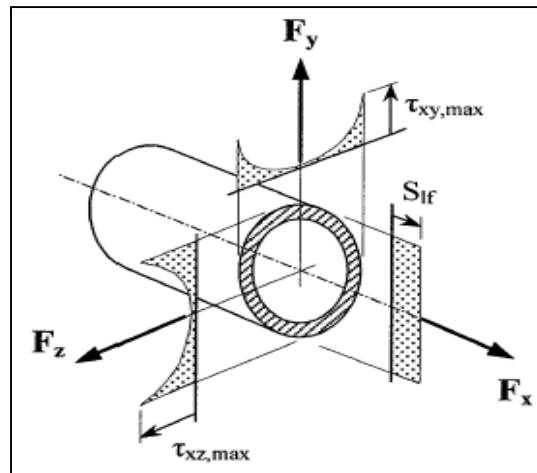


Figura 3.11 Esfuerzo longitudinal por fuerzas longitudinales

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

El segundo esfuerzo longitudinal es debido a la presión interna de la tubería, ver Figura 3.12(b), dicho esfuerzo se calcula de la siguiente manera:

$$S_a = \frac{P \cdot A_f}{A_p} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Dónde: P = Presión Interna a la cual se encuentra sometida la tubería
 A_p = Área transversal efectiva de la tubería
 A_f = Área transversal interna de la tubería

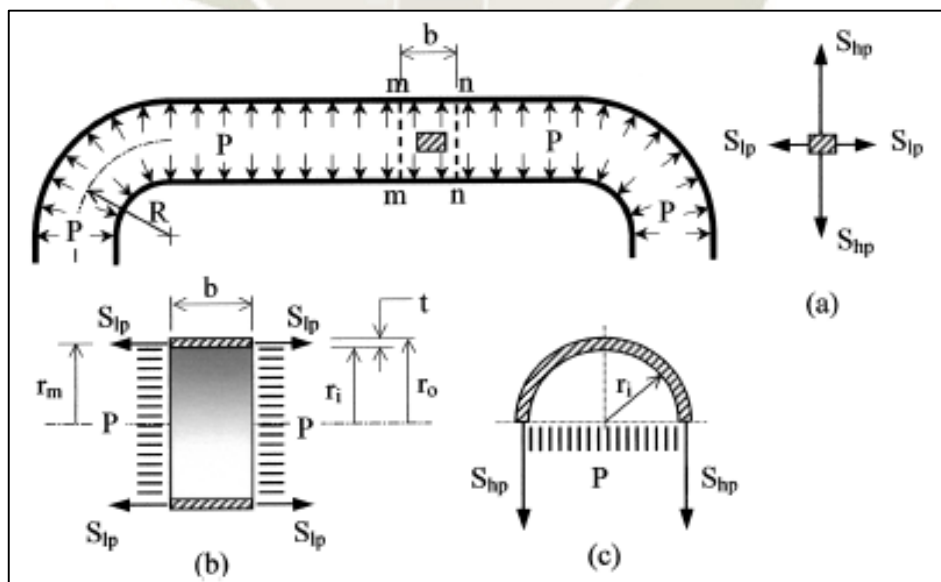


Figura 3.12 Esfuerzos por presión interna.

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

Según el código ASME B31.3, estos dos esfuerzos longitudinales son lo que se denomina “Esfuerzo Longitudinal debido a Cargas Sostenidas (S_a)”. Nótese que en el subcapítulo 320.2, fórmula 23d de la ASME B31.3, para el esfuerzo de cargas axiales se usa un factor de intensificación diferente a los mencionados en el subcapítulo 3.1.1.6, la norma no menciona un número específico o método para determinarlo e indica que a falta de información se toma el número 1 por lo que para el proyecto de tesis no lo tomaremos en cuenta.

$$S_a = \frac{F_L}{A_p} + \frac{P \cdot A_f}{A_p} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Y el último esfuerzo longitudinal, son las flexiones producidas por los pesos o deformaciones en distintos ejes, más conocidos como momentos flectores. Ver Figura 3.13 y este esfuerzo se calcula de la siguiente manera:

$$S_b = \frac{M_L \cdot D}{0.0982(D^4 - d^4)} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Dónde:
 M_L = Momento Flector perpendicular al eje axial de la tubería
 D = Diámetro exterior
 d = Diámetro Interior

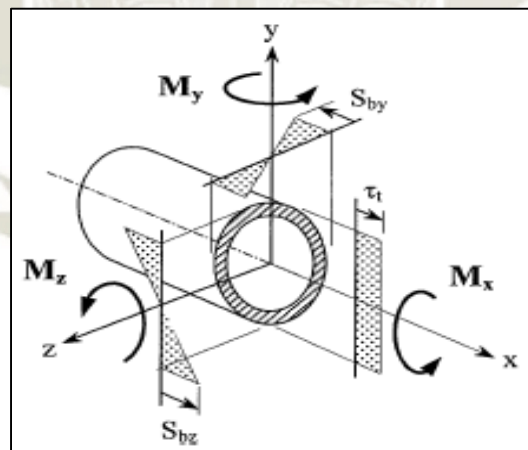


Figura 3.13 Esfuerzos Longitudinales por Momentos Flectores
 Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

3.4.2. ESFUERZOS CIRCUNFERENCIALES (S_H).

Los esfuerzos Circunferenciales o de Hoop son esfuerzos aplicados a la dirección perpendicular al eje axial de la tubería y se producen debido a la presión interna. Este esfuerzo es variable en las paredes de la tubería y la variación responde a la ecuación 3.7, ver la Figura 3.12(c).

$$S_H = \frac{P*(r^2 + \frac{r^2 * R^2}{r_v})}{R^2 - r^2} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Dónde: R = Radio Exterior
 r = Radio Interior

Donde la variable ' r_v ' es la que da la línea donde se requiere el esfuerzo. Pero de manera simplificada se puede utilizar la ecuación 3.8 siempre y cuando $d/t \geq 10$ que en el caso de las tuberías estándar siempre se cumple.

$$S_H = \frac{P*d}{2*t} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Dónde: P = Presión Interna de la Tubería
 d = Diámetro Interior
 t = Espesor de la Tubería

3.4.3. ESFUERZOS RADIALES (S_R)

Estos esfuerzos también se deben a la presión interna de la tubería y varían tanto en la pared externa como en la pared interior de la tubería, se define con la ecuación 3.9.

$$S_R = \frac{P*(r^2 - \frac{r^2 * R^2}{r_v})}{R^2 - r^2} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Dónde: R = Radio Exterior
 r = Radio Interior

En los cálculos no se considera el esfuerzo radial, ya que es nulo cuando el esfuerzo longitudinal es máximo.

3.4.4. ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO ($S_t \text{ max}$).

Estos esfuerzos, como los esfuerzos longitudinales, están compuestos por más de un factor. Para este caso, está compuesto de dos factores.

El primero es causado por fuerzas cortantes, las cuales actúan en la sección transversal de la tubería debido a la carga generada por el fluido, ver Figura 3.11. Este esfuerzo no es constante en la sección y presenta un máximo en el centro de la tubería y se calcula de la siguiente ecuación:

$$S_t = 1.33 \frac{V}{A} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Dónde: V = Fuerza cortante de dirección normal al eje axial de la tubería.
 A = Área transversal de la tubería.

El segundo es causado por el momento torsor, el cual actúa en la sección del tubo, ver Figura 3.13.

$$S_t = \frac{M_T * D}{0.1964(D^4 - d^4)} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

Dónde: M_T = Momento Torsor de la Tubería.
 D = Diámetro Exterior de la Tubería.
 d = Diámetro Interior de la Tubería.

En general, el esfuerzo cortante se representa con la ecuación 3.12.

$$S_t = \left\{ 1.33 \frac{V}{A}, \frac{M_T * D}{0.1964(D^4 - d^4)} \right\} \max \quad (\text{Ec. 3.12})$$

3.4.5. ESTADO DE ESFUERZOS EN UNA TUBERÍA.

(Peng, 2009) Para poder realizar el análisis del estado de esfuerzos en una tubería realizamos un corte de espesor diferencial en la parte externa de la tubería donde los esfuerzos son mayores tendremos un estado tridimensional de esfuerzos como los que se muestra en la Figura 3.13.

3.4.5.1. ESTADO TRIDIMENSIONAL.

Si observamos la Figura 3.14 podremos notar que la capa externa de la tubería está sometida a 3 tipos de esfuerzos: Longitudinales (S_L), radiales (S_R) y circunferenciales (S_H).

En el caso de los longitudinales; la flexión es máxima en el borde externo de las paredes de las tuberías por el propio peso de la tubería, accesorios y el peso del fluido que transporta.

Para los circunferenciales; según la expresión vista en el punto 3.3.2 se toma como constante sin importar la ubicación en la pared de la tubería, siempre y cuando se cumpla con la condición $d/t \geq 10$.

Y los esfuerzos radiales en el borde externo de la tubería son despreciables al ser mucho menores que los demás esfuerzos implicados $S_R \approx 0$.

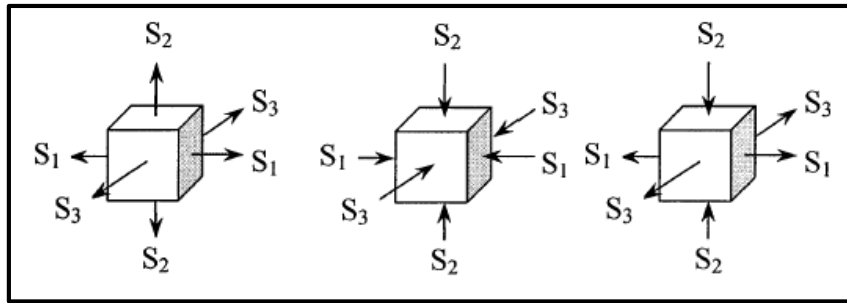


Figura 3.14 Estado Tridimensional de Esfuerzos

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

Ya que los esfuerzos radiales no se toman en cuenta, se obtiene un estado de esfuerzos normales y cortantes, debido a esto se asume un estado de esfuerzos bidimensionales.

3.4.5.2. ESTADO BIDIMENSIONAL.

De lo explicado en el estado tridimensional, se puede apreciar en la Figura 3.15. Esta sección de tubería está sometida a esfuerzos longitudinales y circunferenciales, además de los esfuerzos cortantes por torsión o fuerzas cortantes que aparecen en condiciones específicas de tramos de tuberías o ‘spools’.

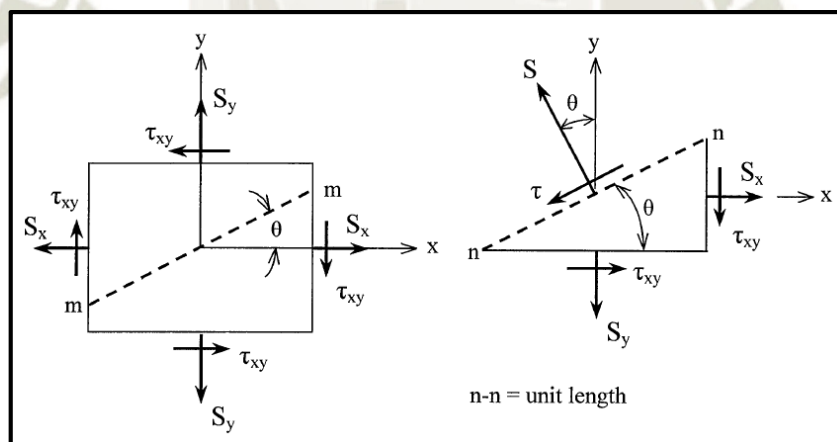


Figura 3.15 Estado Bidimensional de Esfuerzos

Fuente: L.C. Peng y T.L. Peng - Pipe Stress Engineering

3.5. TEORÍAS DE FALLA.

(Peng, 2009) Su objetivo es comparar un esfuerzo equivalente que represente a los estados de esfuerzos a los que está siendo sometido el cuerpo, con el esfuerzo admisible del material y se usa el más desfavorable. A continuación, se presentan las dos teorías de falla más usadas en el análisis de esfuerzos de tuberías y se toman las mismas condiciones anteriormente explicadas en el punto 3.3.5.

3.5.1. TEORÍA DE VON MISSES.

También conocida como la teoría de la Energía de Distorsión, indica que la falla de una pieza se produce cuando la energía de distorsión por unidad volumétrica debida a los esfuerzos máximos absolutos en el punto más crítico sea igual o mayor a la energía de distorsión por unidad volumétrica de una probeta en el ensayo de tensión en el instante de producirse la fluencia.

Para un estado bidimensional como el de la Figura 3.15, se muestra la ecuación 3.13 a continuación.

$$S_{equi} = \sqrt{S_L^2 + S_H^2 - S_L * S_H} \leq S_y \quad (\text{Ec. 3.13})$$

Dónde:
 S_L = Esfuerzo longitudinal
 S_H = Esfuerzo circunferencial
 S_y = Esfuerzo de fluencia

3.5.2. TEORÍA DE TRESCA.

La teoría de Tresca o del máximo esfuerzo cortante, indica que la falla se genera cuando el esfuerzo cortante máximo absoluto en la pieza sometida sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia.

$$2 * S_t = \frac{|\sigma_1| + |\sigma_2|}{2} \leq S_y \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Para un caso plano de esfuerzos como la flexión en una sección de tubería se llega a la siguiente equivalencia.

$$2 * S_t = \sqrt{(S_x)^2 + 4 * \tau^2} \leq S_y \quad (\text{Ec. 3.15})$$

Dónde:
 S_t = Esfuerzo cortante máximo
 S_x = Esfuerzo longitudinal en dirección del eje en análisis
 τ = Esfuerzo cortante

3.6. CARGAS SEGÚN CÓDIGO ASME B 31.3

(The American Society of Mechanical Engineers [ASME], 2010) En el análisis de sistemas de tuberías se deben de verificar los esfuerzos a los cuales está sometido el sistema, el código ASME B 31.3 clasifica los esfuerzos en tres grupos de cargas y tienen criterios específicos que se debe cumplir para asegurar que el sistema no va a fallar. Los esfuerzos circunferenciales no son tomados en cuenta para el análisis de flexibilidad de

tuberías porque en este caso solo se toma en cuenta la resistencia del material sin que tenga que ver con la geometría o las condiciones periféricas de funcionamiento.

3.6.1. CARGAS SOSTENIDAS. (S_L)

También conocidas como Cargas Primarias, son los esfuerzos longitudinales propios del sistema que son ocasionadas por el peso de la tubería, el peso del fluido, peso del aislante, fuerzas concentradas o distribuidas, y presión interna. La ecuación 3.6 muestra la suma de todos los casos de esfuerzos longitudinales con excepción de que en una tubería bien instalada no se presenta una fuerza longitudinal de montaje, por lo que la carga sostenida se presenta en la ecuación 3.16.

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4 * (S_t)^2} \quad (\text{Ec. 3.16})$$

El control de estos esfuerzos se puede hacer colocando un buen soporte o grupo de ellos. Este análisis aplica la teoría del máximo esfuerzo normal por lo que se comparará con el esfuerzo admisible del material (S_Y).

3.6.2. CARGAS DEBIDO A EXPANSIÓN TÉRMICA. (S_E)

También conocidas como Cargas Secundarias, estas se producen debido a la restricción durante la dilatación y contracción de la tubería por los gradientes de temperatura. Debido a que este gradiente de temperatura aparece de manera cíclica existe la posibilidad que se produzca una falla por fatiga. Estas deformaciones que causan sobre esfuerzos se intensifican en los cambios de dirección o ramales de tubería, en esos puntos la norma ASME B 31.3 recomienda el uso de los factores intensificadores de esfuerzos (Subcapítulo 3.1.1.6).

Para el análisis de los esfuerzos secundarios se utiliza el criterio de falla de Tresca, el cual es una sección de tubería se muestra como la ecuación 3.17.

$$S_E = \sqrt{(S_x)^2 + 4 * S_t^2} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

En donde el S_t es el resultado del esfuerzo torsor provocado por momento torsor (M_T) de la ecuación 3.11 y S_x toma la forma de la ecuación 3.18.

$$S_x = \frac{\sqrt{(i_i * M_i)^2 + (i_0 * M_0)^2} * D}{0.0982 * (D^4 - d^4)} \quad (\text{Ec. 3.18})$$

Dónde: i_i, i_0 = Intensificadores de esfuerzos (Ver Punto 3.1.1.6)

D = Diámetro exterior
 d = Diámetro interior
 M_t : Momento Torsor
 M_i : Momentos Flectores interior del plano
 M_o : Momentos Flectores exterior del plano

Para conocer el sentido como se están asumiendo tanto el momento torsor como los momentos flectores, ver Figura 3.16 y Figura 3.17.

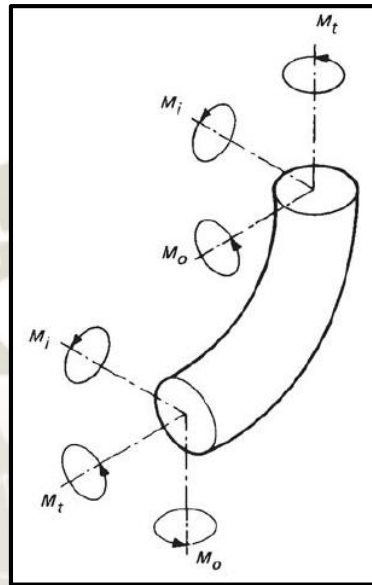


Figura 3.16 Momentos en un codo
 Fuente: Código ASME B31.3.

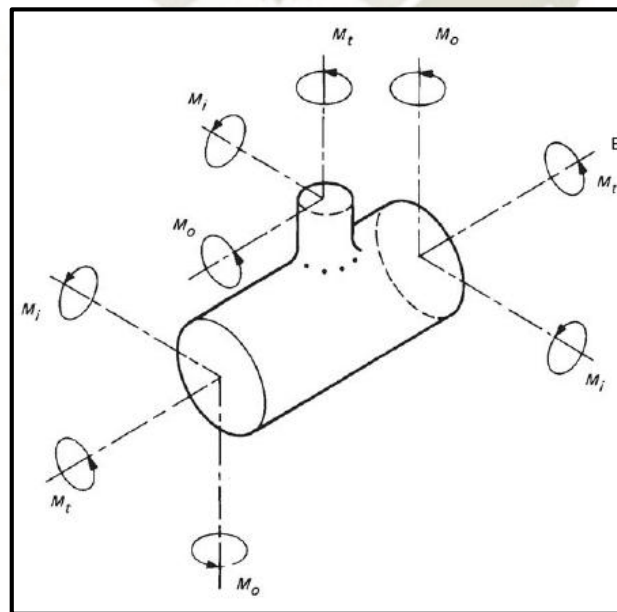


Figura 3.17 Momentos en un accesorio tipo T
 Fuente: Código ASME B31.3.

El esfuerzo admisible de cargas de expansión con el que se tiene que comparar las cargas térmicas, se define de dos maneras según el código ASME B31.3. (Ecuaciones 3.19 y 3.20)

$$\text{Si } S_h \leq S_L \quad S_A = f * (1.25 * S_C + 0.25 * S_h) \quad (\text{Ec. 3.19})$$

$$\text{Si } S_h > S_L \quad S_A = f * [1.25 * (S_C + S_h) - S_L] \quad (\text{Ec. 3.20})$$

$$f = 6 * (N)^{-0.2} \quad (\text{Ec. 3.21})$$

Dónde:

- S_A : Esfuerzo Admisible del sistema.
- S_C : Esfuerzo Admisible del material a la mínima temperatura esperada del sistema.
- S_h : Esfuerzo Admisible del material a la máxima temperatura esperada del sistema.
- f : Factor de rango de esfuerzo. Ver párrafo 302.3.5 de la ASME B31.3
- N : Número de ciclos de variación de la temperatura durante el tiempo de vida del sistema.

Ambos datos son tomados del apéndice A en las tablas A-1 de la norma ASME B31.3. Tomemos en cuenta que, a diferencia de los esfuerzos sostenidos, los esfuerzos por flexibilidad o carga de expansión no contemplan esfuerzos longitudinales.

3.6.3. CARGAS OCASIONALES

Las cargas ocasionales, también conocidas como Cargas Terciarias, son cargas que se generan de forma eventual y pueden ser generadas por vientos, sismos, vibraciones por descargas de válvulas de alivio, golpes de ariete y vibraciones por cualquier otro motivo. El código ASME 31.3 indica que deben ser comparadas como la expresión 3.21 indica.

$$S_{occ} \leq 1.33 * S_h \quad (\text{Ec. 3.22})$$

Dónde: S_{occ} : Esfuerzo por cargas sostenidas más cargas ocasionales.

3.6.3.1. FUERZA SÍSMICA PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.

Es importante considerar en el análisis de flexibilidad y esfuerzos de tuberías la interacción del sistema con fuerzas generadas por un sismo, más aún para un diseño en Perú, que se encuentra dentro del área de influencia del cinturón de fuego del pacífico.

(American Society of Civil Engineers [ASCE], 2006) Una tubería o pipeline no es un elemento estructural por lo que no se puede analizar como una estructura o edificio, en realidad se considera que la tubería es parte del cuerpo estructural. Por tal motivo la ASCE

7-05 dentro del Subcapítulo 13.3 “Solicitaciones sísmicas en componentes no estructurales” (Seismic Demands on non-structural Components), indica el método para determinar la fuerza sísmica de diseño para este tipo de elementos que no son estructurales (Tuberías de fluido de procesos, tuberías contra incendio, ductos de aire acondicionado, etc...).

La fuerza sísmica horizontal de diseño se determina según las fórmulas:

$$F_p = \frac{0.4 * a_p * S_{ds} * W_p}{(R_p / I_p)} * \left(1 + 2 * \frac{z}{h}\right) \quad (\text{Ec. 3.23})$$

$$F_p \leq 1.6 * S_{ds} * I_p * W_p \quad (\text{Ec. 2.24})$$

$$F_p \geq 0.3 * S_{ds} * I_p * W_p \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Dónde:

S_{ds} : Aceleración Espectral. Sección 11.4.4 de ASCE 7-05

a_p : Factor de Amplificación de Componente. Tabla 13.5-1 y 13.6-1 de ASCE 7-05

I_p : Factor de Importancia de Componente, Sección 13.1.3 de ASCE 7-05

W_p : Peso de Operación de Componente

R_p : Factor de disipación de Componente, Tabla 13.5-1 y 13.6-1 de ASCE 7-05

Z : Altura en la estructura del punto de anclaje del componente con respecto a la base. El factor z/h puede tomar valores entre 0 y 1

H : Altura del techo de la estructura con respecto a la base

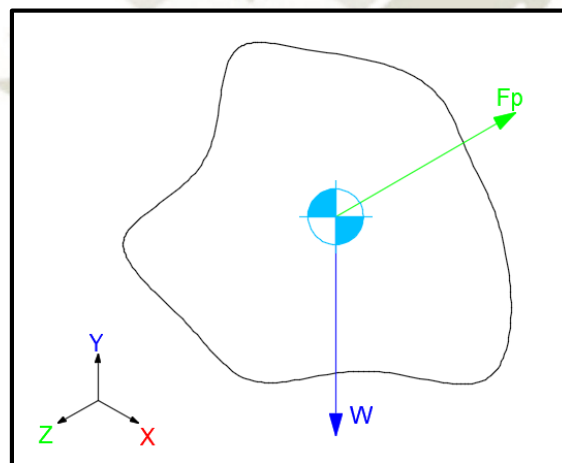


Figura 3.18 Diagrama de cuerpo libre con fuerza sísmica en sentido $-Z$

Fuente: Elaboración Propia

3.7. MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE FLEXIBILIDAD DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS

El término de flexibilidad de tuberías se refiere a identificar si un sistema es suficientemente flexible para que pueda deformarse por efectos térmicos sin que se generen sobreesfuerzos en cada punto de las tuberías. Como se indica en el subcapítulo 3.5.2, se basa en determinar el esfuerzo de expansión térmica y compararlo con el admisible. Existen criterios empíricos y métodos matemáticos formales, que permiten determinar la flexibilidad de un sistema de tuberías, en la presente tesis se explicaran los más usados.

3.7.1. CRITERIO EMPÍRICO DE FLEXIBILIDAD SEGÚN ASME B31.3.

Según el código ASME B 31.3, en el párrafo 319.4.1 indica que no es necesario hacer un análisis matemático de flexibilidad de tuberías a los sistemas que cumplan las siguientes características:

- El sistema es igual a otro o va a reemplazar a uno que se encuentra operando satisfactoriamente.
- El sistema es de tamaño uniforme y no tiene más de dos anclajes ni restricciones intermedias. Además, debe de cumplir con la siguiente fórmula empírica.

$$\frac{D \cdot y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad (\text{Ec. 3.26})$$

Dónde: *D*: diámetro exterior de la tubería
y: Resultante de desplazamiento expansión térmica. $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$
 Desplazamiento térmico en *x*, *y*, *z*. $\Delta(X, Y, Z) = L(x, y, z) * \alpha$
L: longitud desarrollada entre anclajes. $Lx + Ly + Lz$
U: Distancia entre anclajes en línea recta. $\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$
K1: 208.3 (medidas métricas); 0.03 (medidas inglesas).

Cabe indicar que el código menciona que es responsabilidad del diseñador, verificar si con estas condiciones ya no es necesario realizar otro tipo de cálculos formales o computacionales.

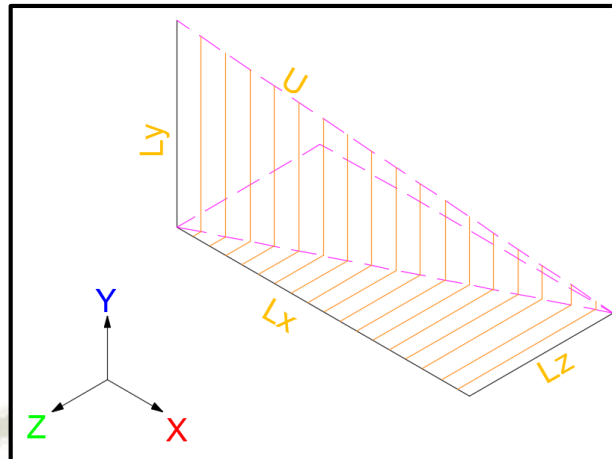


Figura 3.19 Representación genérica de una tubería

Fuente: Elaboración Propia

3.7.2. MÉTODO DE LÍNEA DE INERCIA Y CENTRO ELÁSTICO.

El método de línea de inercia y centro elástico, toma al sistema de tuberías como un solo cuerpo que se deforma por los efectos térmicos en todos sus grados de libertad, este método, bajo la visión de la ASME B31.3 es para hacer un cálculo de expansión. Este método de cálculo ya es considerado un análisis formal para la determinación de esfuerzos en puntos específicos de la tubería.

Este método al igual que el método empírico anterior se toma entre dos puntos de anclaje en donde la deformación es cero. Matemáticamente, este método toma uno de los puntos como fijo y el siguiente extremo se asume libre, por lo que se deforma según los efectos térmicos (se expande si la temperatura es mayor a la temperatura de montaje; mientras que se contrae si la temperatura es menor), debido a que el punto asumido como libre, en realidad es fijo.

Por este método se determinan las fuerzas que hacen que este regrese al punto inicial generando fuerzas y momentos en todos los puntos del sistema de tuberías.

El método se basa en analizar el sistema en cada uno de sus planos de acción hallando el centro de gravedad, los momentos de inercia en el plano y los momentos de inercia según cada eje de trabajo. Las fuerzas se hallan según el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 +F_x I_x - F_y I_{xy} - F_z I_{xz} &= L_x \alpha EI \\
 -F_x I_{xy} + F_y I_y - F_z I_{yz} &= L_y \alpha EI \\
 -F_x I_{xz} - F_y I_{yz} + F_z I_z &= L_z \alpha EI
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 3.27}$$

- Dónde:
- F_x : Fuerza en eje X que restringe la deformación en este eje
 - F_y : Fuerza en eje Y que restringe la deformación en este eje
 - F_z : Fuerza en eje Z que restringe la deformación en este eje
 - I : Momento de inercia de la sección de la tubería.
 - E : Módulo de elasticidad del material.
 - α : Coeficiente de Expansión térmica en In/feet.
 - I_{xy} : Momento de inercia polar del sistema de tuberías en el plano XY
 - I_{xz} : Momento de inercia polar del sistema de tuberías en el plano XZ
 - I_{yz} : Momento de inercia polar del sistema de tuberías en el plano YZ
 - I_x : Momento de inercia del sistema de tuberías en el eje X obtenido de los datos del análisis en los planos XY y XZ
 - I_y : Momento de inercia del sistema de tuberías en el eje Y obtenido de los datos del análisis en los planos XY y YZ .
 - I_z : Momento de inercia del sistema de tuberías en el eje Z obtenido de los datos del análisis en los planos XZ y YZ .

Con estas fuerzas halladas se determinará los momentos inducidos en cada tramo de la tubería en análisis.

Este método ya es formal y puede ser usado en una memoria de cálculo debido a que se hallan valores objetivos de esfuerzos en cada punto deseable.

3.8. CONSIDERACIONES SOBRE ARREGLOS Y SOPORTES EN UN SISTEMA DE TUBERÍAS PARA UN ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD

Es importante contar con ciertos criterios básicos para los arreglos en el ruteo de un sistema de tuberías, como también para hacer las modificaciones cuando se identifiquen problemas. A continuación, se presentan algunas recomendaciones:

- La tubería debe ser auto soportable evitando transmitir esfuerzos a las conexiones de inicio y fin donde estén conectadas.
- En líneas verticales, dependiendo de su longitud, se puede requerir más de un punto de sujeción para evitar deformaciones excesivas. Además, de que ayuden a disminuir la carga del soporte que se encuentra en el punto más bajo de la tubería.
- Para tuberías sometidas a esfuerzos dinámicos considerar soportes independientes de otras tuberías o estructuras., como cuando estén conectadas a equipos de alta vibración.
- Para sistemas que trabajen sobre un rack de tuberías se debe considerar que los apoyos deben ser en las vigas principales y no en las secundarias, porque después del análisis puede requerir reforzar las vigas de apoyo, siendo las más propensas las vigas secundarias.

- Se deben analizar y considerar espacios adecuados para que los soportes según los estándares del diseñador no sufran variaciones o se modifique el ruteo.

Si el sistema no es lo suficientemente flexible y/o resistente a las cargas que será sometido, se pueden tomar las siguientes acciones:

- Reubicación de soportes o modificación del tipo de soporte en puntos requeridos.
- Ubicación de lazos o juntas de expansión según se requiera.

El análisis de flexibilidad verifica que los esfuerzos en la tubería, en los componentes del sistema, y las fuerzas y momentos en los puntos de conexión, se encuentren dentro de los límites admisibles en las fases de operación normal y anormal, durante la vida operativa de la planta.

3.9. CONSIDERACIONES PARA UBICACIÓN DE SOPORTES

Aparte de considerar criterios para el ruteo, también se debe tomar en cuenta consideraciones para la ubicación de los soportes:

- En posiciones cerca de accesorios que produzcan una carga puntual en el sistema.
- Cerca de conexiones con equipos con el fin de evitar transmitir cargas sostenidas al equipo.
- En tramos rectos de tuberías en lugar de juntas angulares, porque estas zonas son las que más sufren frente a un cambio de temperatura y si no se fija correctamente se les agregaría una carga más. Solo en casos de tuberías muy grandes con grandes caudales donde la fuerza resultante producto de la variación de la cantidad de movimiento puede fracturar la tubería, se puede colocar soportes en los cambios de dirección.
- En tramos de tuberías que sean fijos y no vallan a ser removidos por mantenimiento o limpieza.
- Cerca de inicios o llegadas de ramificaciones, bajadas y/o subidas de tramos verticales porque estos transmiten una carga puntual al sistema de tuberías en el cambio de dirección o ramificación.

3.10. CONSIDERACIONES PARA UBICACIÓN DE LAZOS DE EXPANSIÓN

(Renteria, 2014) Los lazos de expansión proporcionan la flexibilidad necesaria para absorber las expansiones térmicas. Son más seguros si se comparan con las juntas de

expansión. Normalmente se ubican en tramos largos de tubería donde necesita flexibilidad ya que sobrecarga a los accesorios de dicho tramo.

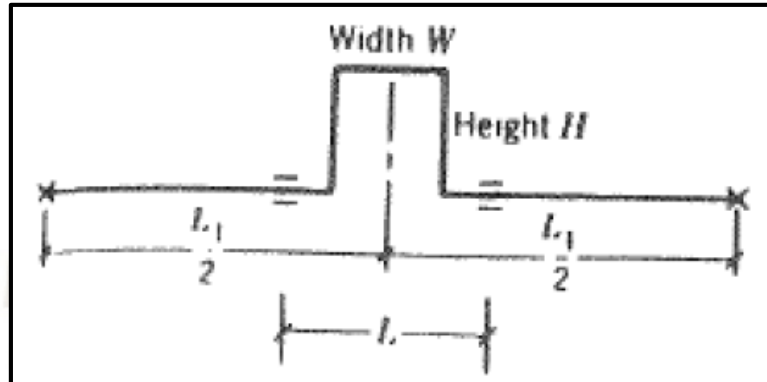


Figura 3.20 Juntas de expansión fabricadas

Fuente: Kannappan, Sam - Introducción al Análisis de Esfuerzos de Tuberías

Los lazos de expansión utilizan el principio de deformación transversal de la tubería en función del esfuerzo flector. Para este caso referenciamos la ec. 3.6 para reemplazar en esta el momento flector de la ec. 3.26 y replanteando obtenemos la ec. 3.27 hallando la altura del lazo de expansión:

$$S_b = \frac{M_L * D}{2I} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

$$M_L = \frac{6EI\Delta}{L^2} \quad (\text{Ec. 3.26})$$

Dónde:

- S_b : Esfuerzo flector
- M_L : Momento flector
- D : Diámetro exterior de la tubería
- I : Momento de inercia de la sección de la tubería
- E : Módulo de elasticidad del material
- Δ : Deformación térmica axial
- L : Longitud del tramo evaluado

$$H^2 = \frac{3ED\Delta}{S_b} \quad (\text{Ec. 3.27})$$

Dónde: H : Altura del lazo de expansión

Si el lazo de expansión es demasiado alto o no se tiene el espacio disponible, se puede construir lazos de expansión tridimensionales, con la consideración mostrada en la Figura 3.21.

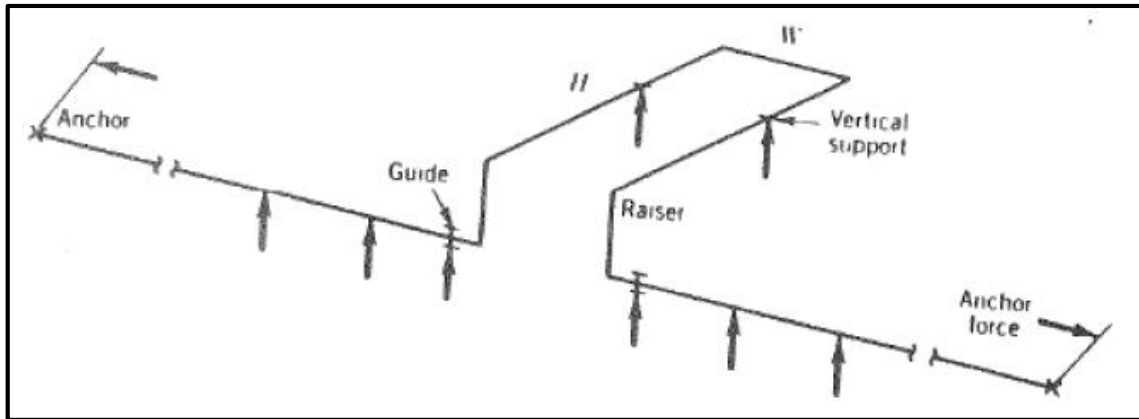


Figura 3.21 Lazo tridimensional

Fuente: Kannappan, Sam - Introducción al Análisis de Esfuerzos de Tuberías

El ancho del lazo de expansión se calcula con la ec. 3.28, la cual tiene una condición y de no cumplirse, se incrementará la cantidad de lazos de expansión.

$$W = 5D > 2 \cdot \frac{\Delta}{2n} \quad (\text{Ec. 3.28})$$

Dónde: W : Ancho del lazo de expansión
 n : Número de lazos a instalar

CAPÍTULO IV

4. CÁLCULOS DE INGENIERÍA Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL

En el subcapítulo 3.2 se mencionó que el análisis de flexibilidad es necesario para asegurar un correcto funcionamiento de un sistema de tuberías, pero no es necesario hacerlo en todos los casos y se identificaron las denominadas líneas críticas.

Debemos tener en cuenta que para realizar un análisis formal se debe tener los siguientes datos definidos:

- Geometría del sistema, se debe tener todas las dimensiones que definan al sistema.
- Características del fluido, identificar la densidad y velocidad del fluido de trabajo.
- Material de tubería, al conocer el material obtendremos el peso lineal de tubería, es un dato de diseño normalmente brindado por las normas de fabricación y los fabricantes de tuberías. (API 5L, ASME B36.10, AWWA C200, etc.)
- Rangos de temperatura, permiten conocer la distancia que se va a deformar con el fin de poder seleccionar correctamente el acople flexible o de expansión.
- Presión de trabajo y de prueba hidrostática, tener en cuenta ambas presiones porque el sistema en normal funcionamiento podría no fallar, sin embargo, podría fallar durante la prueba porque esta es mayor a la presión de diseño; ambas mayores a la presión de trabajo. Se debe tomar en cuenta que la presión interna induce esfuerzos estáticos.
- Cargas Sísmicas, estas originan esfuerzos en las tres direcciones cartesianas que podrían inducir a la falla del sistema.

En el presente capítulo se realizarán análisis formales de deformación de las tuberías por expansión y contracción térmica con diferentes métodos matemáticos de un caso práctico.

Finalmente se desarrollará la teoría de un cálculo con método por simulación computacional para lo cual el código ASME B31.3 presenta unas variaciones en las ecuaciones básicas y agrega la “Carga de Operación” que se suma a las tres cargas básicas de la norma desarrollada en el capítulo 3.

4.1. DATOS DE ENTRADA PARA CASO PRÁCTICO.

El caso práctico tendrá el arreglo que se muestra en la Figura 4.1:

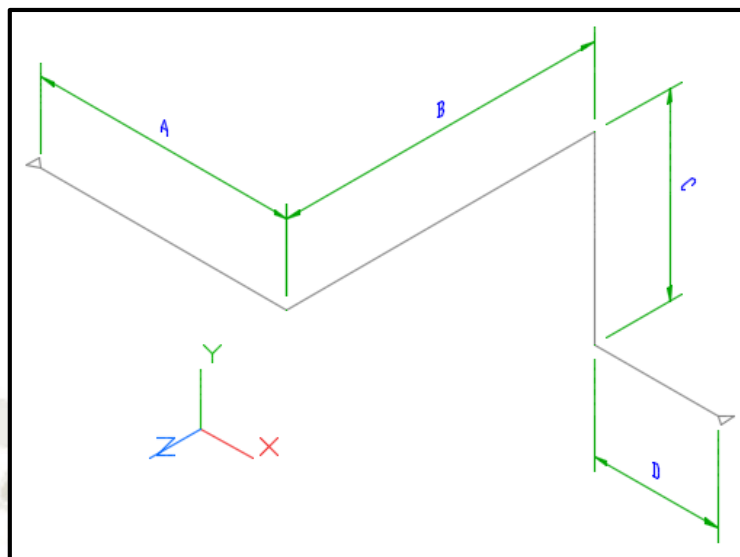


Figura 4.1 Caso Práctico para Análisis Formal

Fuente: Elaboración Propia

Y tendrá las siguientes características:

| Ítem | Descripción | Valor |
|------|--|---|
| 1 | Geometría del Sistema (mm) | A= 4000 ; B=5000; C= 3000 ; D= 2000 |
| 2 | Características del Fluido | Agua de terma |
| 3 | Tubería | 4'' NPS; A53 Gr. B Std. |
| 4 | Rangos de Temperatura | Tmin = 21°C ≈ 70 °F ; Tmax = 65°C ≈ 150 °F |
| 5 | Temperatura de Montaje del sistema | Tamb = 21°C ≈ 70 °F |
| 6 | Número de ciclos de Gradiente de temperatura. 5 veces al día para una vida útil de 20 años. | N = 5*365*20 =36500 |
| 7 | Presión de trabajo | 150 PSI ≈ 1034.2 Kpa ≈ 10.3 bar |
| 8 | Cargas Sísmicas en todos los ejes | 0.302 g |

Tabla 4.1 Tabla de Datos para Caso Práctico

Fuente: Elaboración Propia

Según el tipo de tubería (ver ANEXO 06), se puede obtener los datos necesarios para todo el proceso de cálculo para el presente caso de estudio.

- Diámetro exterior: $D = 114.3 \text{ mm}$
- Diámetro interior: $d = 102.26 \text{ mm}$
- Espesor de tubería: $t = 6.02 \text{ mm}$
- Peso de la tubería: $W_t = 16.07 \text{ Kg/m}$
- Peso del agua al interior: $W_f = 8.20 \text{ Kg/m}$
- Momento de Inercia: $I = 0.0491 * (D^4 - d^4)$
 $I = 3002887.5 \text{ mm}^4$
- Módulo de Elasticidad: $E = 29.5 * 10^4 \text{ MPa}$, a 21°C (70°F)
(Tabla C-6 ASME B31.3, ANEXO 02)
- Módulo de Elasticidad Transversal: $G = E/2(1 + \nu) = 11.35 * 10^4 \text{ MPa}$
(ν , Coeficiente Poisson para acero = 0.3)
- Coeficiente de Expansión Térmica: $\alpha = 0.61 \text{ in}/100 \text{ feet}$,
(Tabla C-1 ASME B 31.3, ANEXO 03)
- Esfuerzo admisible Caliente: $S_h = 20 \text{ ksi} = 137.9 \text{ MPa}$, a 66°C (150°F)
(Tabla A-1 ASME B31.3, ANEXO 07)
- Esfuerzo admisible Frío: $S_c = 20 \text{ ksi} = 137.9 \text{ MPa}$, a 21°C (70°F)
(Tabla A-1 ASME B31.3, ANEXO 07)

Para los métodos desarrollados en el presente capítulo se están tomando las siguientes consideraciones:

- Los codos son puntos y los tramos de tuberías serán considerados desde punto de anclaje hasta conexión con otra tubería, tubería con tubería y tubería con punto de anclaje. Sin tomar en cuenta las dimensiones de los codos.
- No se considerará la fricción que existe entre la tubería y el soporte, ya que este sería un factor que no permite usar los métodos empíricos.

Se debe tomar en cuenta que el código ASME B31.3 toma un factor de seguridad de 1.75 para este material, ya que el esfuerzo de fluencia del material es de 35 ksi o 241.3 MPa según la misma norma. Para todos los cálculos de esfuerzos equivalentes en las distintas cargas se van a tomar los valores de S_h y S_c como los valores admisibles o la base para hallarlos, para este caso ambos valores son iguales, pero en refinerías y plantas de procesos se pueden dar valores de temperaturas de mayor magnitud en donde dichos valores serían distintos. Para los casos de teoría de falla se usa el S_h al ser el más crítico.

4.2. CRITERIO EMPÍRICO DE FLEXIBILIDAD SEGÚN ASME B31.3.

Como se indicó anteriormente, se resolverá el caso práctico aplicando el criterio empírico según ASME B31.3, usando la ecuación 3.26 del capítulo de Fundamentos Teóricos. Ver Figura 4.2 durante el desarrollo de la ecuación.

$$\frac{D*y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad (\text{Ec. 3.26})$$

- D: Diámetro exterior de la tubería
D= 114.3 mm
- L: longitud desarrollada entre anclajes
L= $L_x + L_y + L_z$
L= (4000 mm+2000 mm) + (3000 mm) + (5000 mm)
L= 14000 mm
- U: Distancia entre anclajes en línea recta. $\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$
U= $\sqrt{6000^2 + 3000^2 + 5000^2}$
U= 8366.6 mm
- K1= 208.3 (medidas métricas)
- y: Resultante de desplazamiento por expansión térmica. $\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$

Para obtener “y” debemos hallar el desplazamiento por expansión térmica de cada eje, este desplazamiento es el producto de la deformación de la tubería por el gradiente de temperatura mayor y menor con referencia a la temperatura de montaje, en este caso la temperatura mayor es 70 °C (150° F) y la temperatura de montaje es 21°C (70° F). Para determinar los desplazamientos en cada uno de los ejes es necesario obtener el Coeficiente de Expansión Térmica visto en el subcapítulo 3.1.1.3 y la tabla C-1 del código ASME B31.3 para un material de acero al carbono (ANEXO 03). Debemos de notar que el código toma como referencia la temperatura de montaje de 70°F y esa es la razón por que la tabla C-1 está referenciada a dicha temperatura, el coeficiente térmico para el acero A 53 GrB es de $\alpha=0.61$ in/100ft.

- $\Delta X= L_x * \alpha = 6000 \text{ mm}*(0.61 \text{ in}/100 \text{ ft})*(ft/12in)$
 $\Delta X= 3.05 \text{ mm}$
- $\Delta Y= L_y * \alpha = 3000 \text{ mm}*(0.61 \text{ in}/100 \text{ ft})*(ft/12in)$
 $\Delta Y= 1.53 \text{ mm}$
- $\Delta Z= L_z * \alpha = 5000 \text{ mm}*(0.61 \text{ in}/100 \text{ ft})*(ft/12in)$

$$\Delta Z = 2.54 \text{ mm}$$

* El símbolo es positivo debido a que la deformación es de expansión.

- $y = \sqrt{(3.05)^2 + (1.53)^2 + (2.54)^2}$
 $y = 4.25 \text{ mm}$

Continuando en la ecuación 3.26, reemplazando datos tenemos:

$$\frac{114.3 * 4.25}{(14000 - 8366.6)^2} \leq 208.3$$

$$1.53 * 10^{-5} \leq 208.3$$

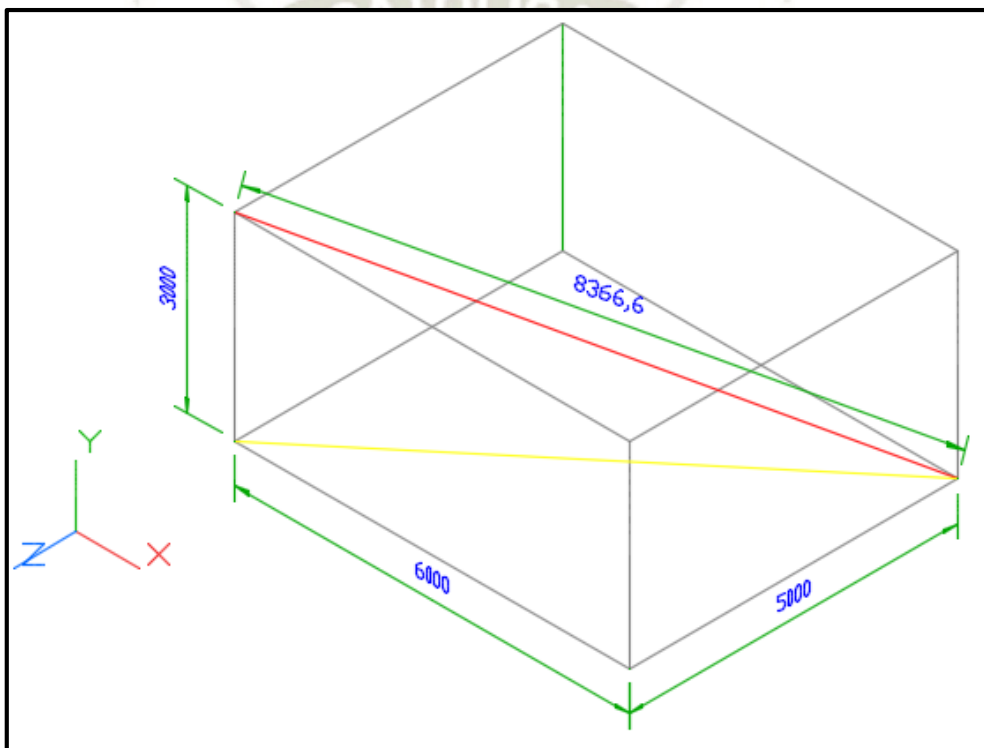


Figura 4.2 Representación gráfica de la tubería según el método empírico de ASME

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, según el cumplimiento de la desigualdad, se demuestra que el sistema contempla la suficiente flexibilidad para su funcionamiento y que se puede instalar soportes basados solo en la máxima separación entre ellos (también conocido como máximo span que es una propiedad que aparece dentro de las características de los soportes estándar) y la máxima separación entre soportes que permite la tubería que usualmente también está incluida en la información estándar del soporte.

También debemos tomar en cuenta que los soportes que se incluirían en el sistema no pueden ser del tipo anclaje (anchors), ya que este método se aplica entre dos puntos anclados, si se incluyen estos se tendría que hacer un nuevo análisis entre dichos puntos. Es por esto que se debe seleccionar soportes tipo restrictores de movimiento del punto “d” del subcapítulo 3.1.4 que ayuden a mantener la forma del sistema analizado evitando deformaciones por efecto de la gravedad.

4.3. MÉTODO LÍNEA DE INERCIA Y CENTRO ELÁSTICO.

Para este método se debe tomar uno de los extremos de la tubería como punto fijo mientras que el otro punto va a asumir la deformación de expansión térmica. En nuestro caso, el nodo 10 es el punto fijo (el nombre de “nodo” es cada uno de los puntos en cambios de direcciones o algún punto que el diseñador quiera agregar para saber el comportamiento en dicho punto) y el nodo 50 es el móvil en donde van a actuar las fuerzas que finalmente son las que van a evitar dicha deformación (ver Figura 4.3). Recordemos que si el sistema no estuviese restringido, las tuberías podrían deformarse sin restricción por lo cual no hubiesen fuerzas ni momentos inducidos.

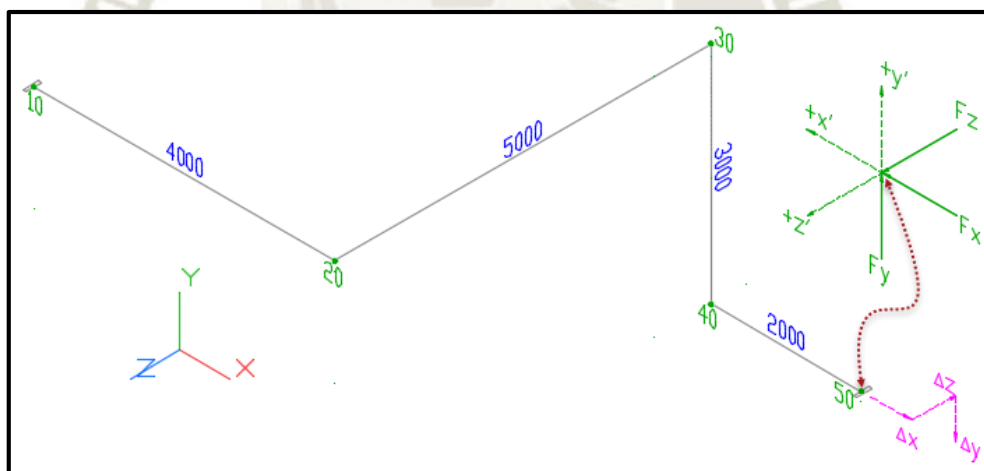


Figura 4.3 Deformaciones y fuerzas producidas por la deformación por efectos térmicos.

Fuente: Elaboración Propia

Las líneas de color magenta representan la deformación mientras que las líneas verdes vendrían a ser las fuerzas contrarias a dichas deformaciones indicando el sistema de referencia con los signos positivos en cada uno de los ejes.

Se desarrolla los cálculos en el plano XY, se obtiene la Figura 4.4 del sistema desde la perspectiva y origen obtenidos en la Figura 4.3.

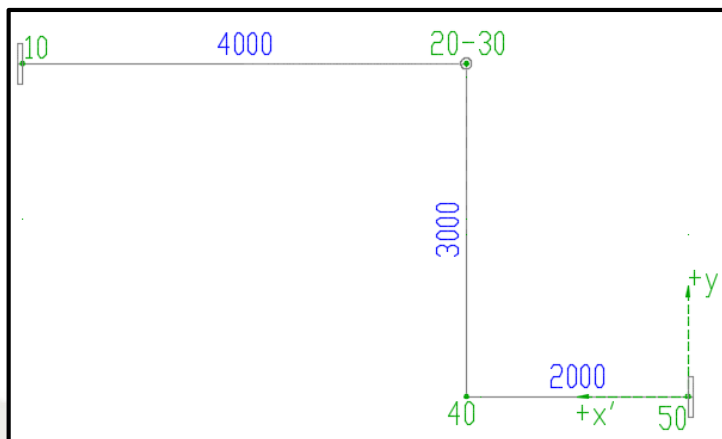


Figura 4.4 Caso Práctico en el plano XY

Fuente: Elaboración Propia

Se determina las longitudes y los centros del sistema en cada caso, ver

| Tramo | L | x' | | y' | |
|-----------------|----------|-------------|------|--------|------|
| 10-20 | 4000 | 4000/2+2000 | 4000 | | 3000 |
| 20-30 | 1.3*5000 | 6500 | 2000 | | 3000 |
| 30-40 | 3000 | | 2000 | 3000/2 | 1500 |
| 40-50 | 2000 | 2000/2 | 1000 | | 0 |
| Total de Tramos | 15500 | | | | |

Tabla 4.2 Tabla de Longitudes y Centros del Caso Práctico en el Plano XY

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 4.2 Tabla de Longitudes y Centros del Caso Práctico en el Plano XY debemos de determinar los centros del sistema según fórmulas, para x'' :

$$x'' = \frac{\sum L * X'}{\sum L} \text{ mm}$$

$$x'' = \frac{4000 * 4000 + 6500 * 2000 + 3000 * 2000 + 2000 * 1000}{4000 + 6500 + 3000 + 2000}$$

$$x'' = \frac{37000000}{15500}$$

$$x'' = 2387.1 \text{ mm}$$

Seguidamente para y'' :

$$y'' = \frac{\sum L * Y'}{\sum L}$$

$$y'' = \frac{4000 * 3000 + 6500 * 3000 + 3000 * 1500 + 2000 * 0}{4000 + 6500 + 3000 + 2000}$$

$$y'' = \frac{36000000}{15500}$$

$$y'' = 2322.6 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos en los cálculos anteriores se ubica el centro de gravedad en el plano XY, ver Figura 4.5, con el fin de obtener los momentos de inercia y el producto de inercia del sistema en este plano.

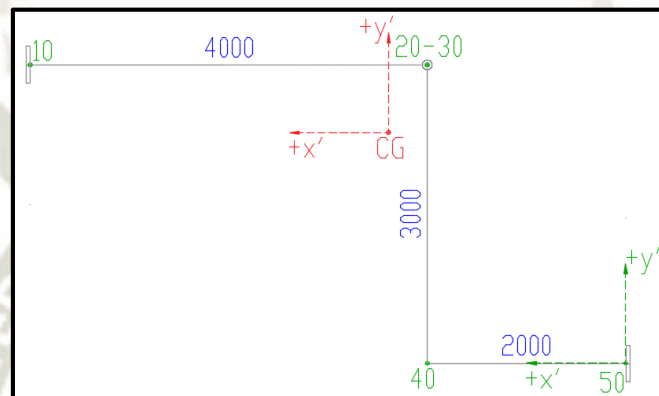


Figura 4.5 Caso Práctico con centro de Gravedad en el plano XY

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el producto de inercia y los momentos de inercia en cada eje se recurre a las siguientes fórmulas:

$$I_{xy} = L_i * x_i * y_i$$

$$I_x = \frac{L_i^3}{12} * A + L_i * y_i^2$$

$$I_y = \frac{L_i^3}{12} * A + L_i * x_i^2$$

Dónde:

I_{xy} : Momento de Inercia Polar en el plano XY.

L_i : Longitud de cada tramo que corresponde el sistema de tuberías.

A : Constante de geometría. $A=1$ si el tramo de tubería es perpendicular al eje, en los demás casos es igual a 0.

x_i : Distancia en el eje x desde el centro de cada tramo al centro de gravedad del sistema en el plano de trabajo. $(x'_i - \bar{x})$

y_i : Distancia en el eje y desde el centro de cada tramo al centro de gravedad del sistema en el plano de trabajo. $(y'_i - \bar{y})$

Según las ecuaciones anteriores, en la Tabla 4.3 se puede apreciar los resultados del producto de inercia y de los momentos de inercia de cada uno de los tramos del sistema de tuberías en el respectivo eje analizado.

| Tramos | L (mm) | x'-x'' (mm) | y'-y'' (mm) | I _x (mm ³) | I _y (mm ³) | I _{xy} (mm ³) |
|-----------------|--------|-------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 10-20 | 4000 | 1612.9 | 677.4 | 1835587929 | 17999577263 | 4370447451 |
| 20-30 | 6500 | -387.1 | 677.4 | 2982830385 | 973985431.8 | -1704474506 |
| 30-40 | 3000 | -387.1 | -822.6 | 4573048264 | 449531737.8 | 955254942.8 |
| 40-50 | 2000 | -1387.1 | -2322.6 | 10788761707 | 5150158255 | 6443288241 |
| Total de Tramos | 15500 | | | 20180228285 | 24573252688 | 10064516129 |

Tabla 4.3 Tabla de Momento de Inercia Polar y Momentos de inercia en los ejes X y Y

Fuente: Elaboración Propia

Según el procedimiento anterior se trabajará con el plano XZ.

| Tramo | L | | x' | | z' | |
|-----------------|----------|------|-------------|------|--------|------|
| 10-20 | | 4000 | 4000/2+2000 | 4000 | | 5000 |
| 20-30 | | 5000 | | 2000 | 5000/2 | 2500 |
| 30-40 | 1.3*3000 | 3900 | | 2000 | | 0 |
| 40-50 | | 2000 | 2000/2 | 1000 | | 0 |
| Total de Tramos | 14900 | | | | | |

Tabla 4.4 Tabla de Longitudes y Centros del Caso Práctico en el Plano XZ

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la Tabla 4.4 obtenemos:

$$x'' = 2402.7 \text{ mm}$$

$$z'' = 2181.2 \text{ mm}$$

Con la coordenada del centro de gravedad del plano XZ hallada, se grafica en el plano para obtener la distancia de dicho centro a cada uno de los centros de los tramos del sistema de tubería. Ver Figura 4.6.

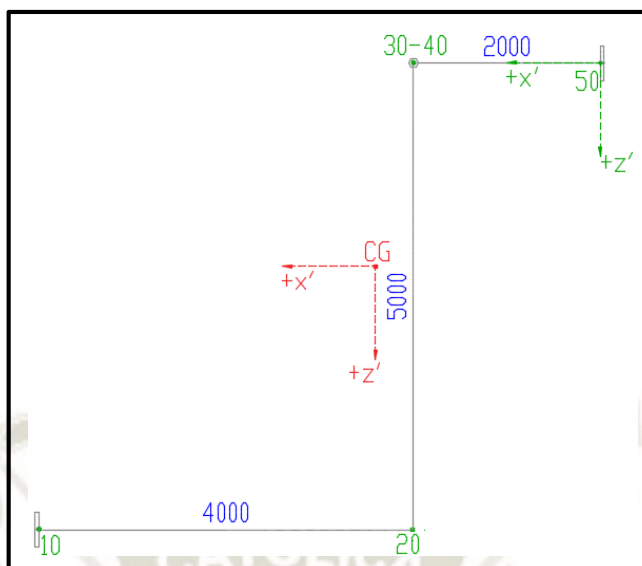


Figura 4.6 Caso Práctico con centro de Gravedad en el plano XZ

Fuente: Elaboración Propia

Así también, se obtiene la tabla con el momento de Inercia Polar y los momentos de Inercia de cada uno de los tramos con respecto a los ejes X y Z, como se muestra en la Tabla 4.5.

| Tramos | L (mm) | x'-x'' (mm) | z'-z'' (mm) | Ix (mm ³) | Iz (mm ³) | Ixz (mm ³) |
|-----------------|--------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 10-20 | 4000 | 1597.3 | 2818.8 | 31782352146 | 15538999745 | 18009999550 |
| 20-30 | 5000 | -402.7 | 318.8 | 10924808192 | 810774289.4 | -641862979 |
| 30-40 | 3900 | -402.7 | -2181.2 | 18554907437 | 632403945.8 | 3425521373 |
| 40-50 | 2000 | -1402.7 | -2181.2 | 9515337147 | 4601714637 | 6119093735 |
| Total de Tramos | 14900 | | | 70777404922 | 21583892617 | 26912751678 |

Tabla 4.5 Tabla de Momento de Inercia Polar y Momentos de inercia en los ejes X y Z

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se procede hallar los datos para el plano YZ.

| Tramo | L | | y' | | z' | |
|-----------------|----------|------|--------|------|--------|------|
| 10-20 | 1.3*4000 | 5200 | | 3000 | | 5000 |
| 20-30 | | 5000 | | 3000 | 5000/2 | 2500 |
| 30-40 | | 3000 | 3000/2 | 1500 | | 0 |
| 40-50 | 1.3*2000 | 2600 | | 0 | | 0 |
| Total de Tramos | 15800 | | | | | |

Tabla 4.6 Tabla de Longitudes y Centros del Caso Práctico en el Plano YZ

Fuente: Elaboración Propia

Así obtenemos de la Tabla 4.6:

$$y'' = 2221.5 \text{ mm}$$

$$z'' = 2436.7 \text{ mm}$$

El centro de gravedad del plano YZ hallada se muestra en la Figura 4.7.

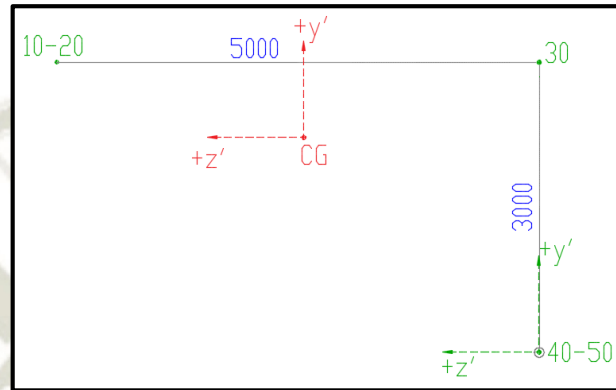


Figura 4.7 Caso Práctico con centro de Gravedad en el plano YZ

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se obtiene el Momento de Inercia Polar en el plano YZ así como los momentos de Inercia según los ejes y y z, ver la Tabla 4.7.

| Tramos | L (mm) | y'-y'' (mm) | z'-z'' (mm) | ly (mm ³) | lz (mm ³) | lyz (mm ³) |
|-----------------|--------|-------------|-------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 10-20 | 5200 | 778.5 | 2563.3 | 34166399615 | 3151369973 | 10376462105 |
| 20-30 | 5000 | 778.5 | 63.3 | 10436695508 | 3030163435 | 246354750.8 |
| 30-40 | 3000 | -721.5 | -2436.7 | 17812650216 | 3811768947 | 5274395129 |
| 40-50 | 2600 | -2221.5 | -2436.7 | 15437630187 | 12831381189 | 14074307002 |
| Total de Tramos | 15800 | | | 77853375527 | 22824683544 | 26912751678 |

Tabla 4.7 Tabla de Momento de Inercia Polar y Momentos de inercia en los ejes Y y Z

Fuente: Elaboración Propia

Con todos estos datos obtenidos se puede usar el sistema de ecuaciones del método de la línea de inercia y centro elástico como se indica en la ecuación 3.27, que nos dará como resultado las fuerzas inducidas debido a la restricción de flexibilidad del sistema de tuberías del caso de estudio.

$$\begin{aligned}
 +F_x I_x - F_y I_{xy} - F_z I_{xz} &= L_x \alpha EI \\
 -F_x I_{xy} + F_y I_y - F_z I_{yz} &= L_y \alpha EI \\
 -F_x I_{xz} - F_y I_{yz} + F_z I_z &= L_z \alpha EI
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 3.27}$$

Los datos numéricos para la solución del sistema de ecuaciones son:

- $E = 29.5 * 10^4 \text{ MPa} = 203395.39 \text{ MPa}$
- $\alpha: 0.61 \text{ in} / 100\text{feet} = 5.08 * 10^{-4}$
- $L_x = 6000 \text{ mm}$
- $L_y = 3000 \text{ mm}$
- $L_z = 5000 \text{ mm}$
- $I = 0.0491 * (D^4 - d^4) = 3002887.5 \text{ mm}^4$
- $I_{xy} = 10064516129.032 \text{ mm}^3 = 1.01 * 10^{10}$
- $I_{xz} = 26912751677.85 \text{ mm}^3 = 2.7 * 10^{10}$
- $I_{yz} = 29971518987.34 \text{ mm}^3 = 3.0 * 10^{10}$
- $I_x = 20180228284.6 + 70777404921.7 = 9.1 * 10^{10} \text{ mm}^3$
- $I_y = 24573252688.2 + 77853375527.4 = 1.05 * 10^{11} \text{ mm}^3$
- $I_z = 21583892617.4 + 22824683544.3 = 4.44 * 10^{10} \text{ mm}^3$

Reemplazando los datos en las ecuaciones tenemos:

$$\begin{aligned}
 +F_x * 9.1 * 10^{10} - F_y * 1.01 * 10^{10} - F_z * 2.7 * 10^{10} &= 1.86 * 10^{12} \\
 -F_x * 1.01 * 10^{10} + F_y * 1.05 * 10^{11} - F_z * 3.0 * 10^{10} &= 9.31 * 10^{11} \\
 -F_x * 2.7 * 10^{10} - F_y * 3.0 * 10^{10} + F_z * 4.44 * 10^{10} &= 1.55 * 10^{11}
 \end{aligned}$$

Con el sistema de ecuaciones se tiene 3 ecuaciones con 3 incógnitas:

- $F_x = 53.63 \text{ N}$
- $F_y = 42.49 \text{ N}$
- $F_z = 96.14 \text{ N}$

De esta manera podemos ubicar, en cada plano de acción, las fuerzas inducidas por la expansión térmica, como se muestra en la Figura 4.8, Figura 4.9 y Figura 4.10:

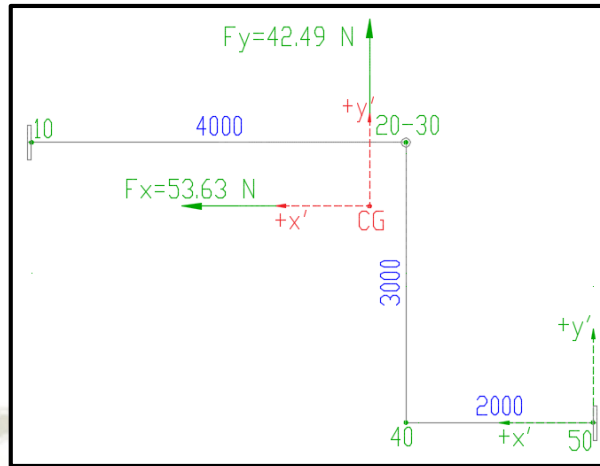


Figura 4.8 Fuerzas Inducidas por la Expansión Térmica en el Plano XY
Fuente: Elaboración Propia

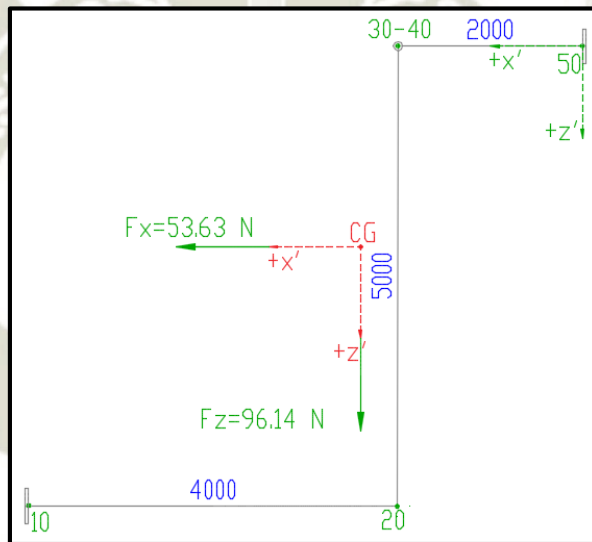


Figura 4.9 Fuerzas Inducidas por la Expansión Térmica en el Plano XZ
Fuente: Elaboración Propia

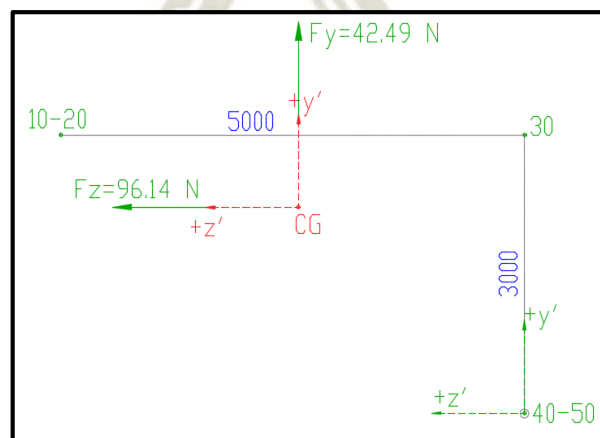


Figura 4.10 Fuerzas Inducidas por la Expansión Térmica en el Plano YZ
Fuente: Elaboración Propia

Con las fuerzas halladas se pueden determinar los momentos inducidos en cada tramo que el diseñador crea conveniente. Para nuestro caso de estudio, vamos a determinar los momentos en cada uno de los nodos indicados al inicio de la solución. Debemos de tomar en cuenta que para hacer el análisis de cada tramo debemos de tener los valores de los intensificadores de esfuerzo para cada accesorio (Capítulo 3, punto 3.1.1.5.), en nuestro caso los accesorios que cuenta con dichos factores son los codos de 90° que hacen los cambios de dirección, para lo cual se usaran la Figura 3.1 y Figura 3.2 para poder identificarlas correctamente y llevarlos al caso práctico.

- Intensificador de Esfuerzos para un codo:

$$h = \frac{\bar{T} * R_1}{r_2^2} \quad (\text{Ec. de Figura 3.1})$$

Dónde: \bar{T} : Espesor teórico de la tubería.
 R_1 : Radio de curvatura.
 r_2 : Radio medio.

$$h = \frac{6.02 * 152.4}{54.14^2}$$

$$h = 0.313$$

Con el valor de la característica de flexibilidad “h” determinado se pueden hallar los Intensificadores de esfuerzos propiamente dichos:

- Intensificador de Esfuerzos para un codo fuera del plano:

$$i_0 = \frac{0.75}{h^{2/3}}$$

$$i_0 = \frac{0.75}{0.313^{2/3}}$$

$$i_0 = 1.63$$

- Intensificador de Esfuerzos para un codo dentro del plano:

$$i_i = \frac{0.90}{h^{2/3}}$$

$$i_i = \frac{0.90}{0.313^{2/3}}$$

$$i_i = 1.95$$

Una vez hallados los factores intensificadores de esfuerzos, procedemos a determinar los momentos en cada uno de los nodos como se indicó anteriormente.

- Nodo 10, Plano XY:

$$M_z = F_y * (x' - x'') - F_x * (y' - y'')$$

$$M_z = 42.49 * (6000 - 2387.1) - 53.63 * (3000 - 2322.6)$$

$$M_z = 117197.6 \text{ N} * \text{mm}$$

- Nodo 10, Plano XZ:

$$M_y : -F_z * (x' - x'') + F_x * (z' - z'')$$

$$M_y = -96.14 * (6000 - 2402.7) + 53.63 * (5000 - 2181.2)$$

$$M_y = -194665.7 \text{ N} * \text{mm}$$

- Nodo 10, Plano YZ:

$$M_x = F_y * (z' - z'') - F_z * (y' - y'')$$

$$M_x = 42.49 * (5000 - 2436.7) - 96.14 * (3000 - 2221.5)$$

$$M_x = 34084.1 \text{ N} * \text{mm}$$

Siguiendo este método, se obtienen los resultados mostrados la Tabla 4.8 en donde se encuentran los momentos en los 3 planos de trabajo. De los tres momentos, los dos primeros son momentos flectores y el último es momento torsor.

En este caso, el Nodo 10 y 50, son tramos rectos de tubería, no tienen intensificador de esfuerzos como sí lo tendrían los nodos 20, 30 y 40.

El momento Resultante es:

$$M = \sqrt{117197.6^2 + (-194665.7)^2}$$

$$M = 227222.4 \text{ N} * \text{mm}$$

El momento torsor está en la dirección longitudinal de la tubería, para el nodo 10 sería el M_x .

$$T = 34084.1 \text{ N} * \text{mm}$$

Se debe observar que en el código ASME B31.3, el cálculo del esfuerzo por expansión no toma en cuenta las fuerzas longitudinales ni circunferenciales, solo los momentos inducidos en cada punto o en cada extremo de accesorio.

Debemos tener en cuenta que, como sistema los codos se encuentran en equilibrio, por tal motivo en cada uno de los extremos el resultado de los momentos es el mismo. Sin embargo, con los intensificadores de esfuerzos multiplicando a los momentos no se va a tener el mismo valor en uno u otro extremo. Por ejemplo en la Figura 4.8 y Figura 4.9, el nodo 20 tiene dos extremos de accesorio, uno que proviene del tramo 10-20 y otro que proviene del tramo 20-30; la diferencia entre estos dos tramos específicos es que en cada sentido los intensificadores de esfuerzos multiplican a un momento diferente, para este caso, el único que va a coincidir es el momento en el eje y , el cual está multiplicado por el i_i .

Por ejemplo, para el nodo 20, sería como sigue:

- Nodo 20, Plano XY:

$$M_z = F_y * (x' - x'') - F_x * (y' - y'')$$

$$M_z = 42.419 * (2000 - 2387.1) - 53.63 * (3000 - 2322.6)$$

$$M_z = -52777.3 \text{ N} * \text{mm}$$

- Nodo 20, Plano XZ:

$$M_y : -F_z * (x' - x'') + F_x * (z' - z'')$$

$$M_y = -96.14 * (2000 - 2402.7) + 53.63 * (5000 - 2181.2)$$

$$M_y = 189876.4 \text{ N} * \text{mm}$$

- Nodo 20, Plano YZ:

$$M_x = F_y * (z' - z'') - F_z * (y' - y'')$$

$$M_x = 42.49 * (5000 - 2436.7) - 96.14 * (3000 - 2221.5)$$

$$M_x = 34084.1 \text{ N} * \text{mm}$$

El momento Resultante es hallado por tramo, el Nudo 20 cuenta con el Tramo 10-20 y el Tramo 20-30, en este paso es donde cada momento es multiplicado por su intensificador de esfuerzos respectivamente:

- Nodo 20 (Tramo 10-20):

$$M = \sqrt{(i_i * M_i)^2 + (i_0 * M_0)^2}$$

$$M = \sqrt{(1.95 * 189876.4)^2 + (1.63 * -52777.3)^2}$$

$$M = 380121.5 \text{ N} * \text{mm}$$

$$T = 34084.1 \text{ N} * \text{mm}$$

- Nodo 20 (Tramo 20-30):

$$M = \sqrt{(i_i * M_i)^2 + (i_0 * M_0)^2}$$

$$M = \sqrt{(1.95 * 189876.4)^2 + (1.63 * 34084.1)^2}$$

$$M = 374403.9 \text{ N} * \text{mm}$$

$$T = 52777.3 \text{ N} * \text{mm}$$

La Tabla 4.8 muestra los momentos resultantes incluyendo los intensificadores de esfuerzos para cada nodo.

| Nodo | Tramo | Plano XY | | Plano XZ | | Plano YZ | |
|------|-------|---|----------|--|-----------|---|-----------|
| 10 | - | $42.49 * (3612.9) - 53.63 * (677.4)$ | | $-96.14 * (3597.3) + 53.63 * (2818.8)$ | | $42.49 * (2563.3) - 96.14 * (778.5)$ | |
| | | M_z (N*mm) | 117197.6 | M_y (N*mm) | -194665.7 | M_x (N*mm) | 34084.1 |
| | | $\sqrt{117197.6^2 + (-194665.7)^2}$ | | M (N*mm) | 227222.4 | T (N*mm) | 34084.1 |
| 20 | - | $42.49 * (-387.1) - 53.63 * (677.4)$ | | $-96.14 * (-402.7) + 53.63 * (2818.8)$ | | $42.49 * (2563.3) - 96.14 * (778.5)$ | |
| | | M_z (N*mm) | -52777.3 | M_y (N*mm) | 189876.4 | M_x (N*mm) | 34084.1 |
| | 10-20 | $\sqrt{(1.95 * 189876.4)^2 + (1.63 * -52777.3)^2}$ | | M (N*mm) | 380121.5 | T (N*mm) | 34084.1 |
| | 20-30 | $\sqrt{(1.95 * 189876.4)^2 + (1.63 * 34084.1)^2}$ | | M (N*mm) | 374403.9 | T (N*mm) | 52777.3 |
| 30 | - | $42.49 * (-387.1) - 149.65 * (677.4)$ | | $-96.14 * (-402.7) + 53.63 * (-2181.2)$ | | $42.49 * (-2436.7) - 96.14 * (778.5)$ | |
| | | M_z (N*mm) | -52777.3 | M_y (N*mm) | -78259.9 | M_x (N*mm) | -178384.5 |
| | 20-30 | $\sqrt{(1.95 * -178384.5)^2 + (1.63 * -78259.9)^2}$ | | M (N*mm) | 370502.4 | T (N*mm) | 52777.3 |
| | 30-40 | $\sqrt{(1.95 * -178384.5)^2 + (1.63 * -52777.3)^2}$ | | M (N*mm) | 358329.7 | T (N*mm) | 78259.9 |
| 40 | - | $42.49 * (-387.1) - 149.65 * (-2322.6)$ | | $-96.14 * (-402.7) + 53.63 * (-2181.2)$ | | $42.49 * (-2436.7) - 96.14 * (-2221.5)$ | |
| | | M_z (N*mm) | 108104.5 | M_y (N*mm) | -78259.9 | M_x (N*mm) | 110022.0 |
| | 30-40 | $\sqrt{(1.95 * 108104.5)^2 + (1.63 * 110022.0)^2}$ | | M (N*mm) | 276766.3 | T (N*mm) | 78259.9 |
| | 40-50 | $\sqrt{(1.95 * 108104.5)^2 + (1.63 * -78259.9)^2}$ | | M (N*mm) | 246395.4 | T (N*mm) | 110022.0 |
| 50 | - | $42.49 * (-2387.1) - 149.65 * (-2322.6)$ | | $-96.14 * (-2402.7) + 53.63 * (-2181.2)$ | | $42.49 * (-2436.7) - 96.14 * (-2221.5)$ | |
| | | M_z (N*mm) | 23117.0 | M_y (N*mm) | 114011.1 | M_x (N*mm) | 110022.0 |
| | | $\sqrt{23117.0^2 + 114011.1^2}$ | | M (N*mm) | 116331.1 | T (N*mm) | 110022.0 |

Tabla 4.8 Momentos de los nodos en cada uno de los planos

Fuente: Elaboración Propia

Procedemos a determinar el esfuerzo flector S_b y el esfuerzo cortante S_t .

- Nodo 10 (S_b):

$$S_b = \frac{M}{I} * \frac{D}{2}$$

$$S_b = \frac{227222.4}{3002887.5} * 57.15$$

$$S_b = 4.32 \text{ MPa}$$

- Nodo 10 (S_t):

$$S_t = \frac{M}{2 * I} * \frac{D}{2}$$

$$S_t = \frac{34084.1}{2 * 3002887.5} * 57.15$$

$$S_t = 0.32 \text{ MPa}$$

Con ambos valores hallados se obtiene el esfuerzo por expansión térmica, como indica la ecuación 3.17:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4 * S_t^2} \quad (\text{Ec. 3.17})$$

$$S_E = \sqrt{4.32^2 + 4 * 0.32^2} \text{ MPa}$$

$$S_E = 4.37 \text{ MPa}$$

Se obtiene la Tabla 4.9 con todos los Valores del esfuerzo por expansión.

| Nodo | M (N*mm) | S_b (Mpa) | T (N*mm) | S_t (Mpa) | S_E (Mpa) | |
|------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|------|
| 10 | 227222.4 | 4.32 | 34084.13 | 0.32 | 4.37 | |
| 20 | 10-20 | 380121.5 | 7.23 | 34084.13 | 0.32 | 7.26 |
| | 20-30 | 374403.9 | 7.13 | 52777.33 | 0.50 | 7.20 |
| 30 | 20-30 | 370502.4 | 7.05 | 52777.33 | 0.50 | 7.12 |
| | 30-40 | 358329.7 | 6.82 | 78259.94 | 0.74 | 6.98 |
| 40 | 30-40 | 276766.3 | 5.27 | 78259.94 | 0.74 | 5.47 |
| | 40-50 | 246395.4 | 4.69 | 110022.03 | 1.05 | 5.14 |
| 50 | 116331.1 | 2.21 | 110022.03 | 1.05 | 3.05 | |

Tabla 4.9 Esfuerzos por Carga de Expansión en cada Punto del caso práctico

Fuente: Elaboración Propia

El mayor valor de Esfuerzo por Cargas de Expansión S_E es de 7.26 MPa para el nodo 20 en el punto que pertenece al tramo 10-20. Gráficamente, se puede observar el punto de esfuerzo máximo en la Figura 4.11.

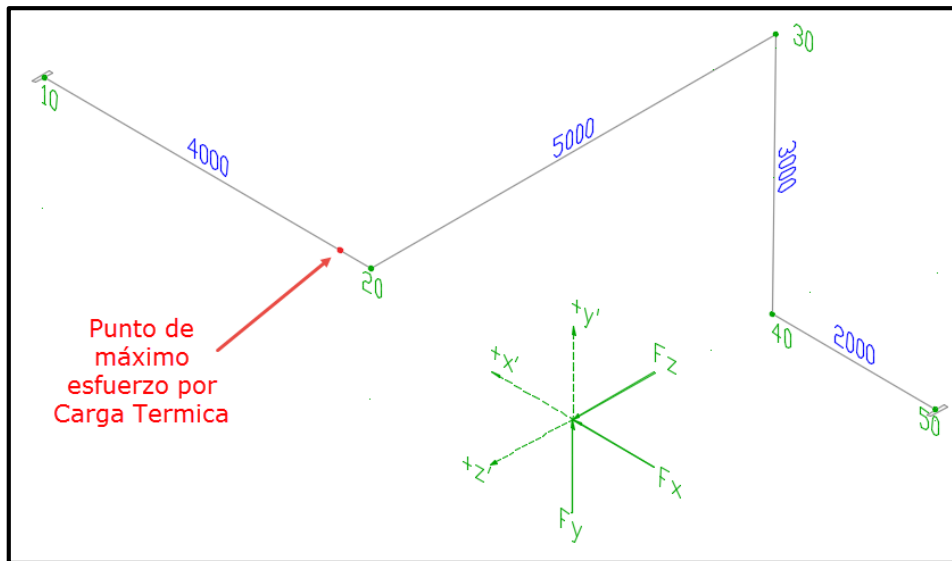


Figura 4.11 Punto de Esfuerzo Máximo por Carga Térmica en Caso Práctico

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se determina el Esfuerzo Admisible de expansión térmica (subcapítulo 3.5.2) se requiere saber el número de ciclos de expansión (N) además de conocer el esfuerzo por cargas sostenidas.

En el enunciado del caso práctico mencionan que este ciclo se repite 5 veces al día para una vida útil de 20 años, los ciclos totales para la vida útil de la tubería es 3652500. Según estos datos se procederá con las ecuaciones 3.19 y 3.20

$$S_A = f * (1.25 * S_C + 0.25 * S_h) \quad (3.19)$$

$$f = 6 * (N)^{-0.2} \quad (3.21)$$

$$f = 6 * (5 * 365 * 20)^{-0.2}$$

$$f = 0.73$$

Reemplazando este valor en la ecuación 2.19:

$$S_A = f * (1.25 * S_C + 0.25 * S_h)$$

$$S_A = 0.73 * (1.25 * 137.9 + 0.25 * 137.9)$$

$$S_A = 151.83 \text{ MPa}$$

Se puede observar que el valor del esfuerzo admisible es mucho mayor que las cargas por Expansión Térmica, por lo cual se puede asegurar que el sistema no fallará por expansión. En otras palabras, se asegura que el sistema tiene la suficiente flexibilidad para contrarrestar las deformaciones propias de su funcionamiento asegurando una vida útil de 20 años. Es muy importante denotar que después de este análisis no se puede afirmar que el sistema es resistente, solo que es lo suficientemente flexible para no fallar.

Después de este análisis, también debemos de asegurarnos que los soportes que coloquemos no restrinjan su libre movimiento, debido a que ya nos aseguramos que el sistema es flexible sin restricción. Los soportes que vamos a colocar y delimitar en los siguientes subcapítulos deben ser del tipo soporte simple vertical o guías de movimiento; típicamente.

4.4. CÁLCULO DE MÁXIMO SPAN CONSIDERANDO CARGAS OCASIONALES SEGÚN TEORÍA DE FALLA.

El cálculo de máximo span se realiza con el fin de obtener la distancia máxima entre soportes de tuberías sin generar sobre esfuerzos sobre esta. Este cálculo nos proporciona las primeras posibles posiciones de soportes el cual se definirá en un primer momento con el análisis de esfuerzos de cargas sostenidas y se comprobará con el análisis de esfuerzos de cargas ocasionales.

Como se mencionó anteriormente los soportes típicos usados en empresas del rubro de ingeniería cuentan con una tabla en donde se menciona el máximo span o máxima separación de tuberías según el diámetro de la tubería y el peso específico del fluido que se transporta.

En el caso que se tuviera un sistema de tuberías sin cargas ocasionales solo se analizaría el propio peso del sistema tomando en cuenta todos los accesorios y adicionales, como aislantes y chaquetas, que influyen sobre el sistema.

Determinaremos el máximo span sin cargas ocasionales con el fin de demostrar que la diferencia nos puede ayudar a evitar hacer cambios cuando se analiza la tubería por cargas ocasionales que usualmente es el último paso en la verificación de esfuerzos y flexibilidad de una tubería.

- Peso de la tubería: $Wt = 16.07 \text{ Kg/m}$
- Peso del fluido (agua): $Wf = 8.2 \text{ Kg/m}$

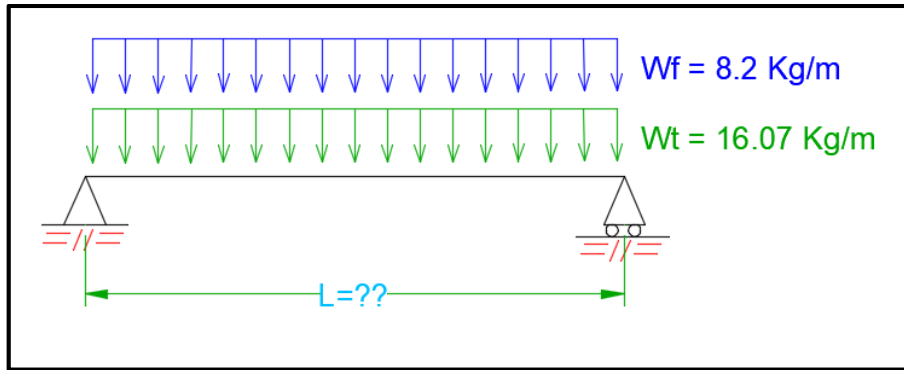


Figura 4.12 Cálculo de Máximo Span sin cargas Ocasionales

Fuente: Elaboración Propia

El momento debido a estas cargas distribuidas en el punto medio longitudinal de la tubería es equivalente a:

- Momento máximo por peso: $M_{peso} = W_{total} \frac{L^2}{2} \text{ Kg} * \text{m}$
 $M_p = (16.07 + 8.2) \frac{L^2}{2} \text{ Kg} * \text{m}$
 $M_p = 119.04 * L^2 \text{ N} * \text{m}$

Hallando la longitud máxima entre soportes tomando el peso del sistema:

- Longitud máxima entre soportes: $S_h > \frac{M_p}{I} * \frac{D}{2}$
 $137.9 \text{ MPa} > (119.04 * L^2 \text{ N} * \text{m}) * (0.05715 \text{ m}) / (3 * 10^6 \text{ mm}^4)$
 $137.9 * 10^6 \text{ N/m}^2 > (119.04 * L^2 \text{ N} * \text{m}) * (0.05715 \text{ m}) / (3 * 10^{-6} \text{ m}^4)$
 $7.8 \text{ m} > L$

Para el caso de estudio, se calculará el máximo spam tomando en cuenta la acción del sismo con el efecto más perjudicial que sería en un plano perpendicular al esfuerzo generado por la flexión del peso.

La fuerza del sismo se basa en un multiplicador del peso; el cual, según los datos iniciales es 0.302, debido a que las fuerzas distribuidas en la dirección de la gravedad son solo del peso, se hallará la fuerza del sismo, la cual también es distribuida, multiplicando el factor sísmico por la suma de las fuerzas distribuidas (Ver Figura 4.13)

- Fuerza sísmica: $F_x = 0.302 * (8.2 + 16.07) \text{ Kg/m}$
 $F_x = 7.77 \text{ Kg/m}$

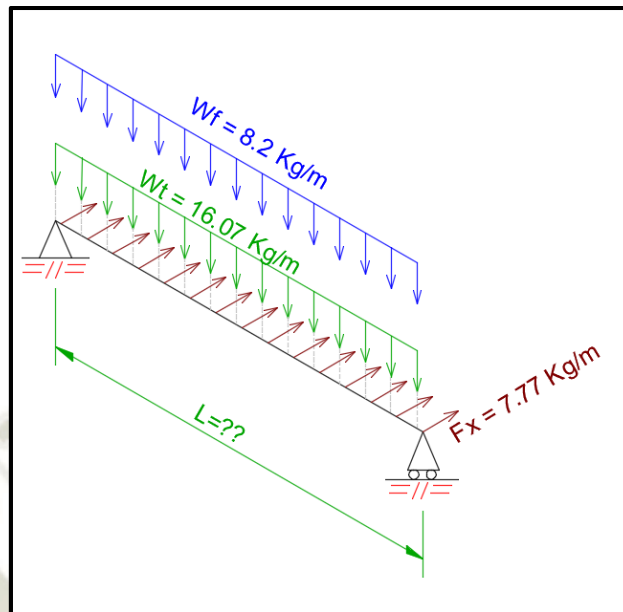


Figura 4.13 Cálculo de Máximo Spam con carga Ocasional Sísmica

Fuente: Elaboración Propia

El momento producto de esta fuerza sísmica es:

- Momento debido al sismo: $M_{sismo} = 7.77 \frac{L^2}{2} \text{ Kg} * \text{m}$

$$M_s = 38.11 * L^2 \text{ N} * \text{m}$$

- Momento Resultante: $M = \sqrt{M_s^2 + M_p^2} \text{ N} * \text{m}$

$$M = 125.0 * L^2 \text{ N} * \text{m}$$

- Calculando el máximo span: $S_h > \frac{M_p}{I} * \frac{D}{2}$

$$137.9 \text{ MPa} > (125.0 * L^2 \text{ N} * \text{m}) * (0.05715 \text{ m}) / (3 * 10^6 \text{ mm}^4)$$

$$137.9 * 10^6 \text{ N/m}^2 > (125.0 * L^2 \text{ N} * \text{m}) * (0.05715 \text{ m}) / (3 * 10^{-6} \text{ m}^4)$$

$$7.61 \text{ m} > L$$

4.5. MÉTODO POR SIMULACIÓN COMPUTACIONAL.

Los softwares especializados para el cálculo de Esfuerzos y Flexibilidad de tuberías son usados por empresas de ingeniería debido a que su programación se basa en normas de diseño de tuberías, como el código ASME del grupo B31, contienen dentro de su base de datos todos los materiales contemplados por código, sus esfuerzos admisibles a distintas temperaturas y estos pueden ser configurados según las condiciones contempladas por el diseñador sin salir del alcance del código que está en uso.

(The American Society of Mechanical Engineers [ASME], 2010) Para el cálculo usando método por simulación computacional se debe tener en cuenta lo que indica el código ASME B 31.3 en su anexo P. Este código maneja tres tipos de esfuerzos de verificación: Sostenido o primarios; Expansión o Secundarios; y Ocasionales o terciarios; sin embargo, el anexo P recomienda para el análisis que se realizan con computadoras y software de cálculos de esfuerzos analizar un cuarto esfuerzo que es el Esfuerzo de Operación.

Debido a estas herramientas es posible calcular los esfuerzos de operación que combina los esfuerzos debido a cargas sostenidas (Pesos y Presión) con cargas de expansión y colocarlas en uno solo que refleja realmente el funcionamiento de la tubería.

Así mismo el anexo P brinda dos nuevas expresiones y redefine otras dos. Se introducen los conceptos de Esfuerzo de Operación y Esfuerzo Admisible de Operación, y se redefinen el Esfuerzo de Cargas de Expansión y Esfuerzo Admisible de Cargas de Expansión.

El Esfuerzo de Operación se define con el símbolo “ S_o ” y la ecuación 4.1.

$$S_o = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4 * S_t^2} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

Dónde:
 S_a : Esfuerzo Axial por presión interna.
 S_b : Esfuerzo de flexión.
 S_t : Esfuerzo de torsión.

El Esfuerzo Admisible de Operación se define con el símbolo “ S_{aA} ” y las ecuaciones 3.1 y 3.2. El Ceaser II, por defecto, usa la ecuación 4.2 como una manera de tener un diseño conservador.

$$\text{Si } S_y \leq 0.8 S_T \quad S_{aA} = 1.5(S_C + S_h) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

$$\text{Si } S_y \geq 0.8 S_T \quad S_{aA} = 1.275(S_C + S_h) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Dónde:
 S_y : Esfuerzo Específico Mínimo de fluencia del material.
 S_T : Esfuerzo Específico Mínimo de Rotura del material.
 S_C : Esfuerzo admisible del material a temperatura ambiente.
 S_h : Esfuerzo admisible del material a temperatura de diseño.

El Esfuerzo de Carga de Expansión se redefine con la ecuación 4.4. Recordemos que el Caesar II para los casos de expansión toma la diferencia algebraica entre las fuerzas y momentos unitarios en cada nodo de operación, y las fuerzas y momentos unitarios de cada nodo del caso de esfuerzos sostenidos. Así se evita hacer un recalcu de las fuerzas

de expansión. La ecuación 4.4 es idéntica en forma a la ecuación 4.1, sin embargo, se diferencian en la forma de obtener los valores de esfuerzos axiales, de flexión y torsión.

$$S_E = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + 4 * S_t^2} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

Dónde: S_a : Esfuerzo Axial por presión interna.
 S_b : Esfuerzo de flexión.
 S_t : Esfuerzo de torsión.

El esfuerzo admisible de carga de expansión se redefine con el símbolo “ S_{EA} ” y la ecuación 4.5.

$$S_{EA} = 1.25 * f * (S_C + S_h) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

Dónde: S_C : Esfuerzo Admisible del material a la mín. temp. esperada del sistema.
 S_h : Esfuerzo Admisible del material a la mín. temp. esperada del sistema.
 f : Factor de rango de esfuerzo. Ver Ec. 4.21

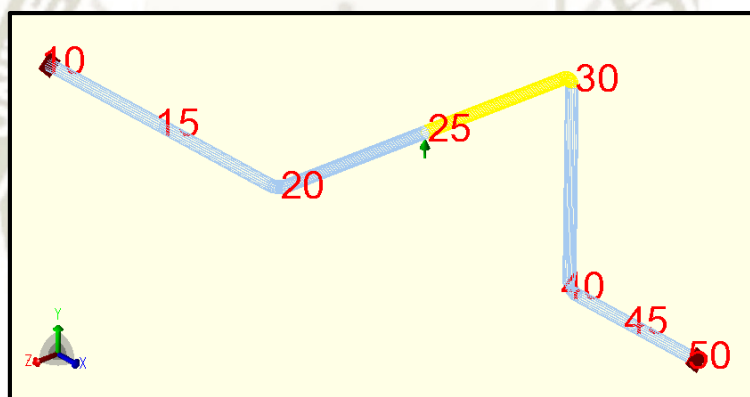


Figura 4.14 Vista Isométrica de Caso de Estudio en software Caesar II

Fuente: Software Caesar II

CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo desarrollaremos los cálculos de la tubería de carga de GNL determinando las cargas y verificando los esfuerzos y flexibilidad los cuales tienen que estar dentro de lo establecido por el código ASME B31.3. Usaremos el método de simulación computacional.

Es importante destacar que la tesis es parte de un proyecto de tipo Brownfield, es decir, que dicho proyecto se desarrollara sobre una planta existente, la cual cuenta con especificaciones técnicas propias con las cuales se trabajara y respetara.

5.1. INFORMACIÓN DE INGRESO PARA EL ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y FLEXIBILIDAD DE LÍNEA DE CARGA DE GNL.

Se determinarán las cargas y verificaran los esfuerzos y flexibilidad de la tubería de carga de GNL, a continuación los parámetros de diseño.

5.1.1. CONDICIONES ATMOSFERICAS

Las condiciones atmosféricas en la planta son:

- Presión Barométrica Max.: 998 mbar
- Presión Barométrica Min. : 992 mbar
- Temp. Ambiente Max. : 29 °C
- Temp. Ambiente Prom. : 18 °C
- Temp. Ambiente Min. : 11 °C

5.1.2. CARACTERISTICAS DE FLUIDO

Las características del fluido que recorrerá por la tubería son:

- Fluido : Gas Natural Licuado
- Presión de Operación : 4.5 Bar
 - Diseño : 19 Bar
 - Hidráulica : 21 Bar
- Temp. de Operación : -160.7 °C
 - Diseño : -196 °C
- Densidad : 453.9 Kg/m³
- Viscosidad : 0.137

5.1.3. ESPECIFICACION DE MATERIAL DE TUBERIA

Según la especificación de tuberías de planta, se tiene:

| Diámetro Nominal (in) | SCH | Espesor de pared (mm) | Tolerancia mecánica (mm) | Diámetro Exterior (mm) | Material |
|-----------------------|-----|-----------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| 6 | 10S | 3.40 | 0.0 | 168.28 | SS ASTM A312 TP304L, Smls |
| 8 | 10S | 3.76 | 0.0 | 219.08 | SS ASTM A312 TP304L, Smls |

Tabla 5.1 Especificación de Material de Tubería

Fuente: Elaboración Propia

5.1.4. ESPECIFICACION DE AISLAMIENTO

Para el aislamiento según la especificación de planta y de información vendor, se tiene:

| Diámetro Nominal (in) | Diámetro Exterior (in) | Material | Densidad |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|---|
| 6 | 16.07 | Espuma de Poliuretano | 64.07 Kg/m ³ (4 lb / ft ³) |
| 8 | 19.07 | Espuma de Poliuretano | |

Tabla 5.2 Especificación de Aislamiento

Fuente: Elaboración Propia

5.1.5. RECORRIDO DE TUBERIA

Para realizar la simulación por método computacional se genera el modelo de la tubería en 3D, por lo cual el ruteo de la línea se genera en base al arreglo o layout de tuberías (ver ANEXO 01) y se consideran las limitaciones que se pueda tener en campo como interferencias con estructuras, tuberías, equipos y/o accesos. Después de ser analizada puede sufrir cambios en caso la tubería requiera modificaciones de ruteo o tipo de soportes para corregir esfuerzos y permitir que la tubería sea flexible.

5.1.6. CODIGO APLICABLE

Para el análisis de estrés, los códigos aplicables son ASME B31.3 y ASCE 7.

5.1.7. CARGA SISMICA

El análisis sísmico de las tuberías se basa en el código ASCE 07 como se indican en la especificación de planta de aproximación de esfuerzos de tuberías para análisis sísmico.

Para simular los efectos sísmicos se utilizará factores para la aceleración estática de la gravedad de acuerdo con las condiciones sísmicas calculadas. También se ha considerado 3 casos de condiciones de carga que son U1, U2 y U3 (ver valores en ANEXO 07)

- +/- U1: Factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje X, igual a 0.394g. (Horizontal)
- +/- U2: el factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje Y, igual a 0.394 g. (Horizontal)
- +/- U3: Factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje Z, igual a 0.175g. (Vertical)

5.1.8. CARGA DE VIENTO

Se puede apreciar en la Tabla 2.4 Condiciones de Sitio, para este proyecto el viento es de categoría “C” con los siguientes valores:

- Velocidad de viento : 40.2 m/s
- Factor de forma de viento : 0.65

5.2. DESARROLLO DEL CÁLCULO POR SIMULACION COMPUTACIONAL.

La herramienta de cálculo por simulación computacional que se usará es el software Caesar II.

Con los datos de ingreso requeridos ya reunidos se empieza el modelado de la línea.

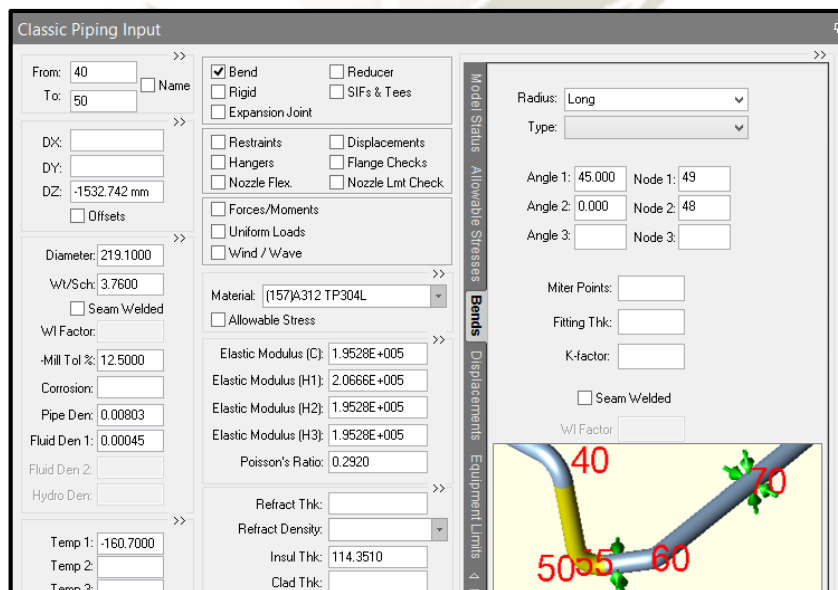


Figura 5.1 Interfaz para modelado de Tuberías

Fuente: Software Caesar II

5.2.1. DESARROLLO DEL RECORRIDO DE LA TUBERÍA.

En la Figura 5.2 se aprecia el recorrido inicial de la tubería.

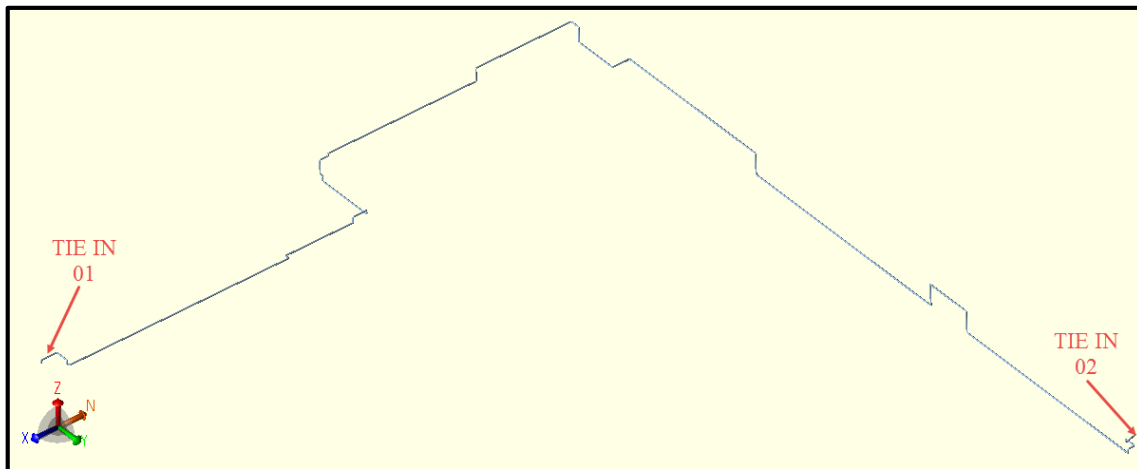


Figura 5.2 Vista Isométrica de Recorrido Inicial de Tubería

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. DETERMINACIÓN Y UBICACIÓN DE SOPORTES.

Se desarrollará según la especificación de planta para el diseño, suministro, fabricación e instalación de soportes y lista de soportes para tuberías.

De acuerdo al resultado del análisis se seleccionarán soportes para servicio criogénico que resistan las cargas solicitadas. Los soportes por usar serán de tipo guía (GUI), soporte de peso (+Z), soporte de sujeción (Z) y la combinación de algunos de ellos según se requiera.

La distancia recomendada entre soportes de tubería será de 6 metros.

5.2.3. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO.

Para el análisis, se ha utilizado el coeficiente de fricción de 0.3 para el contacto de acero con acero.

El criterio para el análisis de esfuerzos de tuberías de planta indica que el desplazamiento máximo permitido debido a los efectos térmicos de los soportes de tubería se limita a 15 cm.

La verificación de fugas de bridas se realiza utilizando el método "Equivalente de presión" del software Caesar II.

5.3. COMBINACIONES DE CARGA.

Para determinar la flexibilidad y esfuerzos en la tubería, y las fuerzas, deformaciones y momentos en los soportes de la tubería, se utilizara las siguientes combinaciones de carga:

| Loads Defined in Input |
|--------------------------|
| W - Weight |
| T1 - Thermal Case #1 |
| P1 - Pressure Case #1 |
| HP - Hydro. Pressure |
| U1 - Unif Load Case #1 |
| U2 - Unif Load Case #2 |
| U3 - Unif Load Case #3 |
| WIN1 - Wind Load Case #1 |
| WIN2 - Wind Load Case #2 |
| WIN3 - Wind Load Case #3 |
| WIN4 - Wind Load Case #4 |
| WW - Water Filled Weight |
| WNC - Weight No Contents |

Figura 5.3 Cargas definidas de ingreso

Fuente: Software Caesar II

5.3.1. CASO BASICO DE CARGA ESTÁTICA

Este caso se analiza el peso total (W) de la tubería, temperatura (T) y presión (P). Se obtienen los esfuerzos en caso de operación (OPE), sostenido (SUS) y de expansión (EXP)

- L1: W+T1+P1 (OPE)
- L2: W+P1 (SUS)
- L3: L1-L2 (EXP)

El caso de expansión es un caso de combinación que resulta de restar el caso sostenido del caso en operación. El caso de expansión representa el cambio debido al efecto de la temperatura en el sistema de tuberías, pero en presencia de otras cargas. Esto es importante porque el estado de restricción de los casos en operación y sostenidos puede ser diferente si hay restricciones no lineales (como + Y, -Z, cualquier restricción con un gap, etc.) o condiciones de fricción.

5.3.2. CASO DE CARGA ESTÁTICA OCACIONAL

Los casos básicos son combinados con carga sísmica o de viento.

| | Definition | Name | Stress Type |
|-----|--------------|--------------------------|-------------|
| L1 | WW+HP | PRUEBA NEUMATICA | HYD |
| L2 | W+T1+P1 | OPERACION | OPE |
| L3 | W+P1 | ALT: OPERACION SOSTENIDA | SUS |
| L4 | W+P1 | SOSTENIDO | SUS |
| L5 | W+T1+P1+U1 | OPE +U1 | OPE |
| L6 | W+T1+P1-U1 | OPE -U1 | OPE |
| L7 | W+T1+P1+U2 | OPE +U2 | OPE |
| L8 | W+T1+P1-U2 | OPE -U2 | OPE |
| L9 | W+T1+P1+U3 | OPE +U3 | OPE |
| L10 | W+T1+P1-U3 | OPE -U3 | OPE |
| L11 | W+T1+P1+WIN1 | OPE + WIN 1 | OPE |
| L12 | L5-L2 | L5-L2 (OCC) | OCC |
| L13 | L6-L2 | L6-L2 (OCC) | OCC |
| L14 | L7-L2 | L7-L2 (OCC) | OCC |
| L15 | L8-L2 | L8-L2 (OCC) | OCC |
| L16 | L9-L2 | L9-L2 (OCC) | OCC |
| L17 | L10-L2 | L10-L2 (OCC) | OCC |
| L18 | L11-L2 | L11-L2 (OCC) | OCC |
| L19 | L4+L12 | L4+L12 (OCC) | OCC |
| L20 | L4+L13 | L4+L13 (OCC) | OCC |
| L21 | L4+L14 | L4+L14 (OCC) | OCC |
| L22 | L4+L15 | L4+L15 (OCC) | OCC |
| L23 | L4+L16 | L4+L16 (OCC) | OCC |
| L24 | L4+L17 | L4+L17 (OCC) | OCC |
| L25 | L4+L18 | L4+L18 (OCC) | OCC |
| L26 | L2-L4 | L2-L4 (EXP) | EXP |

Figura 5.4 Cargas Combinadas en Caesar II

Fuente: Software Caesar II

5.4. ANÁLISIS DEL RECORRIDO INICIAL.

Se analizará la línea de carga de GNL con casos básicos (Operación, sostenida y expansión) y considerando el efecto del viento.

5.4.1. RESUMEN DE RESULTADOS.

- Cumplimiento del Código: (Ver ANEXO 09)

| | | |
|-----------------------|--------------|--|
| Highest Stresses: | (KPa) | |
| Ratio (%): | 200.3 | @Node 868 LOADCASE: 26 (EXP) L26=L2-L4 |
| Code Stress: | 561824.4 | Allowable Stress: 280529.3 |
| Axial Stress: | 30175.4 | @Node 860 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP |
| Bending Stress: | 544095.5 | @Node 868 LOADCASE: 26 (EXP) L26=L2-L4 |
| Torsion Stress: | 39753.1 | @Node 1219 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1 |
| Hoop Stress: | 59086.2 | @Node 1510 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP |
| Max Stress Intensity: | 565898.8 | @Node 868 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1 |

- Esfuerzos Máximos para la Prueba Neumática: (Ver ANEXO 10)

| | | |
|-----------------------|---------|----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 1 (HYD) WW+HP |
| Ratio (%): | 46.1 | @Node 6250 |
| Code Stress: | 79475.4 | Allowable Stress: 172368.9 |
| Axial Stress: | 30175.4 | @Node 860 |
| Bending Stress: | 50448.1 | @Node 6250 |
| Torsion Stress: | 972.0 | @Node 2069 |
| Hoop Stress: | 59086.2 | @Node 1510 |
| Max Stress Intensity: | 79843.9 | @Node 6250 |

- Esfuerzos Máximos para Carga Sostenida: (Ver ANEXO 10)

| | | |
|-----------------------|---------|----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 4 (SUS) W+P1 |
| Ratio (%): | 39.0 | @Node 6250 |
| Code Stress: | 44943.5 | Allowable Stress: 115142.4 |
| Axial Stress: | 7048.3 | @Node 860 |
| Bending Stress: | 38723.3 | @Node 6250 |
| Torsion Stress: | 838.2 | @Node 2069 |
| Hoop Stress: | 12661.3 | @Node 1510 |
| Max Stress Intensity: | 44943.5 | @Node 6250 |

- Esfuerzos Máximos para Carga Ocasional: (Ver ANEXO 10)

| | | |
|-----------------------|----------|--|
| Highest Stresses: | (KPa) | |
| Ratio (%): | 91.0 | @Node 70 LOADCASE: 20 (OCC) L20=L4+L13 |
| Code Stress: | 139367.7 | Allowable Stress: 153139.4 |
| Axial Stress: | 10500.7 | @Node 70 LOADCASE: 20 (OCC) L20=L4+L13 |
| Bending Stress: | 154218.2 | @Node 1230 LOADCASE: 21 (OCC) L21=L4+L14 |
| Torsion Stress: | 19140.8 | @Node 1219 LOADCASE: 21 (OCC) L21=L4+L14 |
| Hoop Stress: | 12661.3 | @Node 1510 LOADCASE: 19 (OCC) L19=L4+L12 |
| Max Stress Intensity: | 168581.1 | @Node 1230 LOADCASE: 21 (OCC) L21=L4+L14 |

- Esfuerzos Máximos para Carga de Expansión: (Ver ANEXO 10)

| | | |
|-----------------------|----------|-----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4 |
| Ratio (%): | 200.3 | @Node 868 |
| Code Stress: | 561824.4 | Allowable Stress: 280529.3 |
| Axial Stress: | 17728.8 | @Node 860 |
| Bending Stress: | 544095.5 | @Node 868 |
| Torsion Stress: | 39429.0 | @Node 1219 |
| Hoop Stress: | 0.0 | @Node 2068 |
| Max Stress Intensity: | 561824.4 | @Node 868 |

- Desplazamientos: (Ver ANEXO 11)

| Node | DX mm. | DY mm. | DZ mm. | RX deg. | RY deg. | RZ deg. |
|------|--------|----------|--------|---------|---------|---------|
| 1210 | 0 | -141.034 | 0 | -0.1335 | 0.505 | -0.2767 |
| 1213 | 10.463 | -144.359 | -4.956 | -0.2854 | 0.5142 | -0.5935 |
| 1214 | 14.965 | -144.013 | -6.996 | -0.6922 | 0.7416 | -1.241 |
| 1215 | 20.384 | -140.964 | -8.792 | -0.9968 | 0.9517 | -1.4256 |

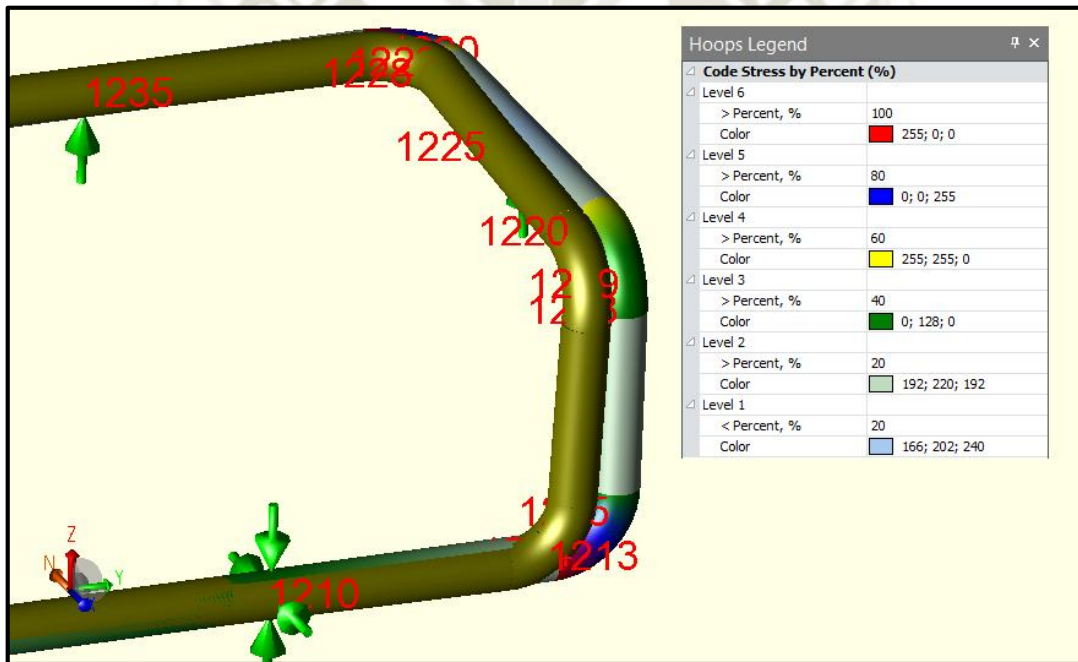


Figura 5.5 Máxima deformación de recorrido inicial

Fuente: Software Caesar II

5.4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Los resultados indican que la tubería de línea de carga excede los límites permitidos por el código ASME B31.3. En el caso de expansión se debe a la contracción generada por la temperatura del fluido ($T = -160.7 \text{ } ^\circ \text{C}$). El nodo 868 es el más afectado, excediendo los límites a una proporción de 200.3%. Esto afecta directamente a los accesorios y conexiones con el equipo.

Se identificaron los siguientes nodos para evaluar las acciones a tomar, ver Tabla 5.3:

| Caso de Carga | Nodo | Esfuerzo KPa | Esfuerzo Permitido KPa | Ratio % | Accesorio / Soporte |
|---------------|------|--------------|------------------------|---------|---------------------|
| 26(EXP) | 60 | 273823.1 | 280013.2 | 97.8 | codo |
| 20(OCC) | 70 | 139210.2 | 153139.4 | 90.9 | soporte |
| 20(OCC) | 70 | 139367.7 | 153139.4 | 91.0 | soporte |
| 26(EXP) | 198 | 316466.9 | 276736.2 | 114.4 | codo |
| 26(EXP) | 199 | 298587.9 | 276483.9 | 108.0 | codo |
| 26(EXP) | 204 | 353905.4 | 276224.6 | 128.1 | codo |
| 26(EXP) | 204 | 353905.4 | 276224.6 | 128.1 | codo |
| 26(EXP) | 205 | 371734.6 | 276153.6 | 134.6 | codo |
| 26(EXP) | 258 | 391299.3 | 273135.6 | 143.3 | codo |
| 26(EXP) | 258 | 353345 | 266344.7 | 132.7 | codo |
| 26(EXP) | 268 | 340563.6 | 278294 | 122.4 | codo |
| 26(EXP) | 269 | 435165.8 | 278468.2 | 156.3 | codo |
| 26(EXP) | 270 | 472601.8 | 275322.4 | 171.7 | codo |
| 26(EXP) | 288 | 442439.8 | 274893.2 | 160.9 | codo |
| 26(EXP) | 289 | 393488.7 | 271125.8 | 145.1 | codo |
| 26(EXP) | 290 | 296054.4 | 271172.7 | 109.2 | codo |
| 26(EXP) | 700 | 283576.6 | 278601.2 | 101.8 | codo |
| 26(EXP) | 748 | 386309.1 | 281138 | 137.4 | codo |
| 26(EXP) | 749 | 471375.9 | 281414 | 167.5 | codo |
| 26(EXP) | 750 | 422056.3 | 281096.5 | 150.1 | codo |
| 26(EXP) | 859 | 335469.4 | 279317.4 | 120.1 | codo |
| 26(EXP) | 860 | 426488.6 | 278014.8 | 153.4 | codo |
| 26(EXP) | 868 | 561824.4 | 280529.3 | 200.3 | codo |
| 26(EXP) | 869 | 470803 | 281375.8 | 167.3 | codo |
| 26(EXP) | 1019 | 268068.8 | 263226.3 | 101.8 | codo |
| 26(EXP) | 1020 | 361381.8 | 249167.1 | 145.0 | codo |
| 26(EXP) | 1028 | 378437.6 | 272233.5 | 139.0 | codo |
| 26(EXP) | 1029 | 285127.3 | 254231.8 | 112.2 | codo |
| 26(EXP) | 1100 | 249160 | 244720.3 | 101.8 | codo |
| 26(EXP) | 1108 | 348028.7 | 264480.7 | 131.6 | codo |
| 26(EXP) | 1109 | 275890.7 | 270841.3 | 101.9 | codo |
| 26(EXP) | 1213 | 306468 | 270891.5 | 113.1 | codo |
| 26(EXP) | 1229 | 265572.6 | 273210.8 | 97.2 | codo |
| 26(EXP) | 1230 | 277735.7 | 272914 | 101.8 | codo |

Tabla 5.3 Nodos a evaluar

Fuente: Software Caesar II

El software Caesar II también nos permite visualizar los nodos que exceden el esfuerzo permitido según el código por medio de colores, en la Figura 5.6, Figura 5.7, Figura 5.8 y Figura 5.9 se puede apreciar los nodos a mejorar según su ubicación en la línea:

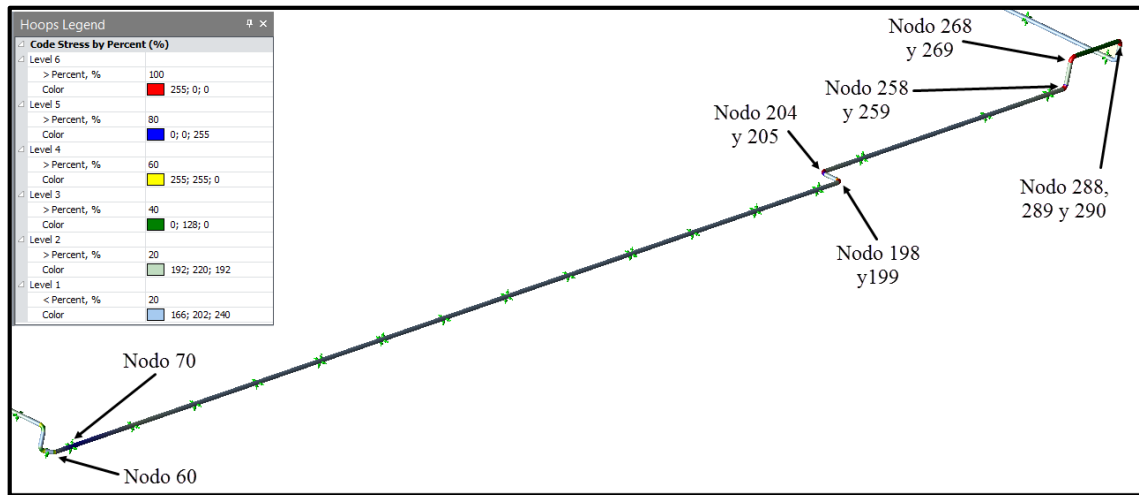


Figura 5.6 Nodos ubicados sobre Soportes de Concreto Existentes

Fuente: Software Caesar II

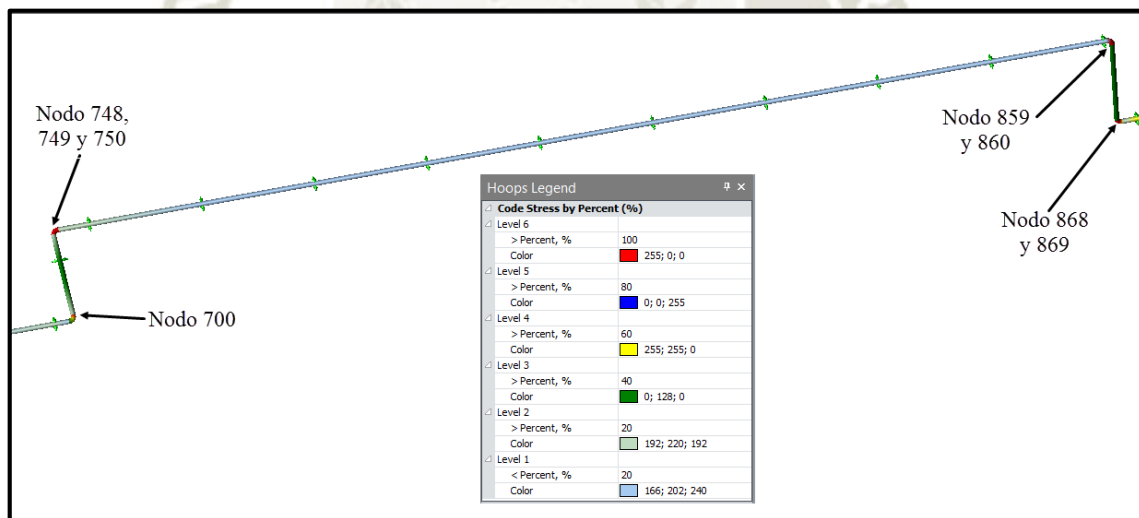


Figura 5.7 Nodos ubicados sobre Puente Rack de Tuberías Nuevo 01

Fuente: Software Caesar II

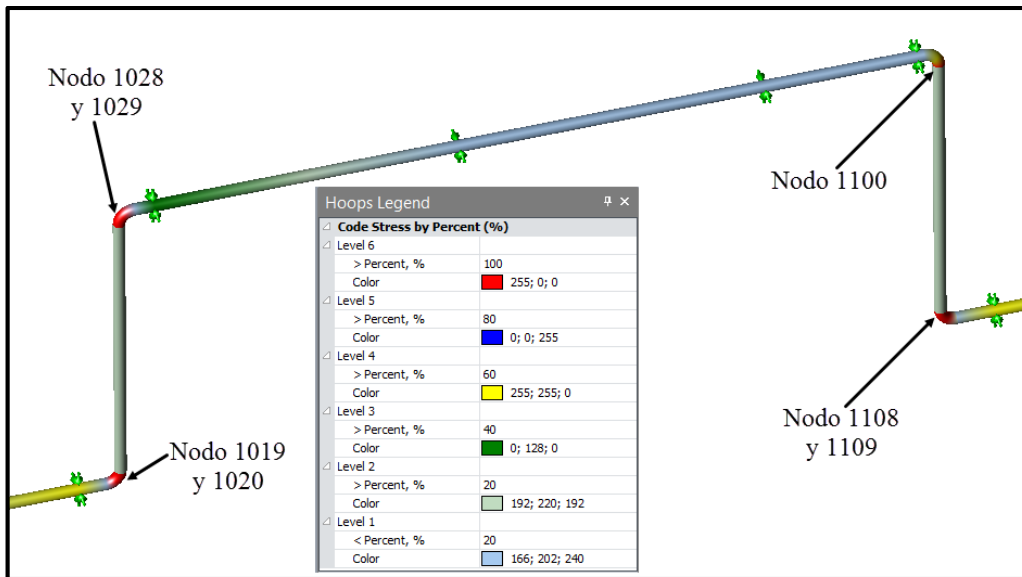


Figura 5.8 Nodos ubicados sobre Puente Rack de Tuberías Nuevo 02

Fuente: Software Caesar II

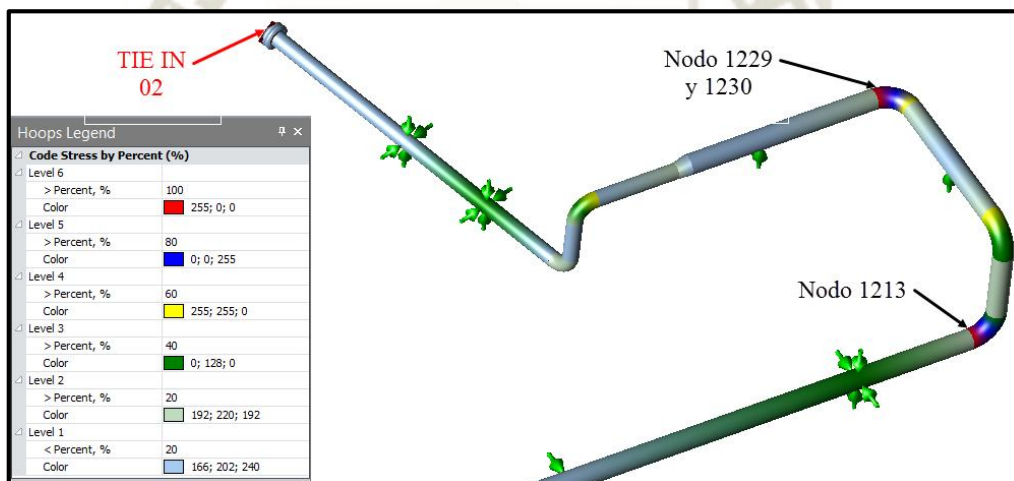


Figura 5.9 Nodos ubicados sobre Soportes de Concreto Tramo 02

Fuente: Software Caesar II

5.5. ANALISIS PARA RECORRIDO MODIFICADO.

Se evaluaron los nodos identificados y se puede apreciar que en el caso de expansión los esfuerzos exceden lo permitido. Para que la tubería sea más flexible se agregaran lazos de expansión como sigue:

- Lazo de expansión tridimensional asimétrico (H= 1650 mm + 1650 mm, W=3880 mm) para los nodos 198, 199, 204 y 205, como se ve en la Figura 5.10.
- Lazo de expansión vertical asimétrico (H= 2500 mm, W=2380 mm) para los nodos 228, 229, 268, 269, 288, 289 y 290, como se ve en la Figura 5.10.

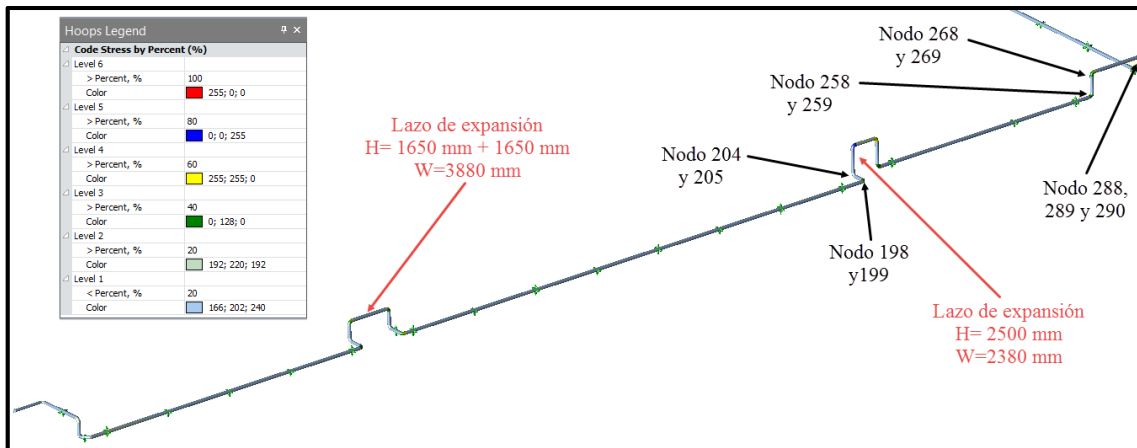


Figura 5.10 Lazos de expansión ubicados sobre soportes de concreto existentes

Fuente: Software Caesar II

- Lazo de expansión horizontal asimétrico (H= 1650 mm, W=3880 mm) para los nodos 700, 748 y 749, como se ve en la Figura 5.11.

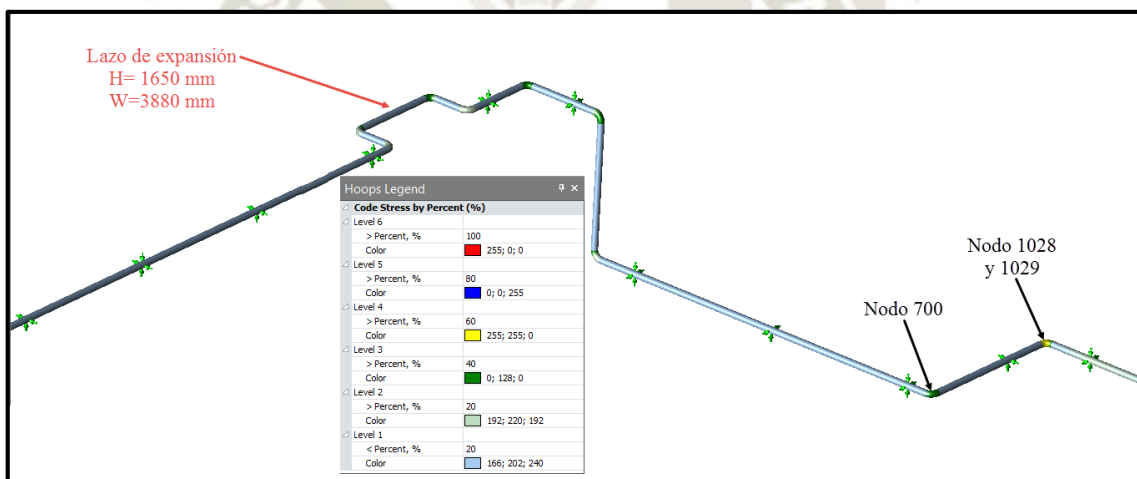


Figura 5.11 Lazo de expansión en rack de tuberías existente

Fuente: Software Caesar II

- Lazo de expansión vertical asimétrico (H= 1650 mm, W=1000 mm) para los nodos 750, 859, 860, 868 y 869, como se ve en la Figura 5.12.

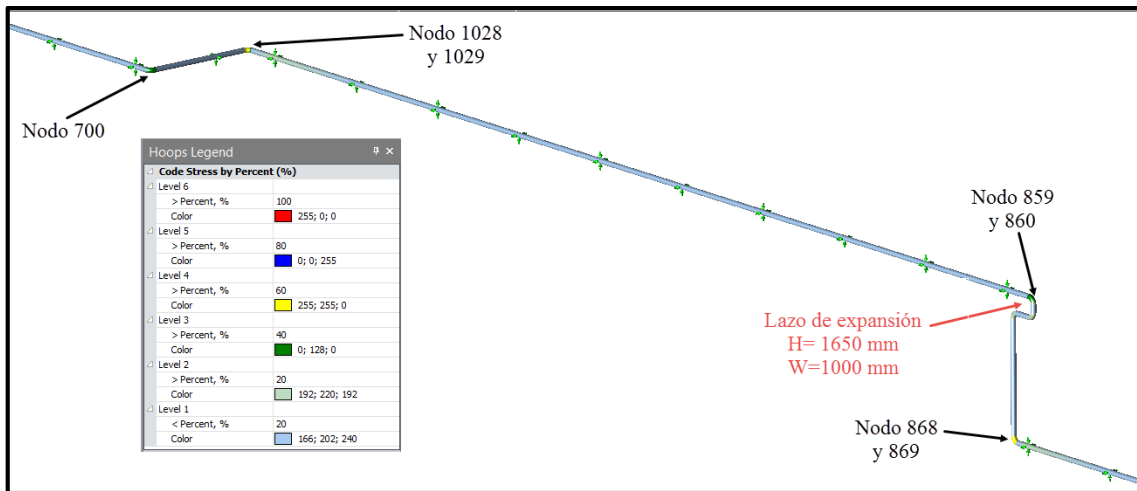


Figura 5.12 Lazo de expansión en puente rack de tuberías nuevo 01

Fuente: Software Caesar II

- Para los nodos 1019, 1020, 1028 y 1029 se procederá hacer un lazo de expansión horizontal asimétrico (H= 2325 mm, W=4650 mm), como se ve en la Figura 5.13.

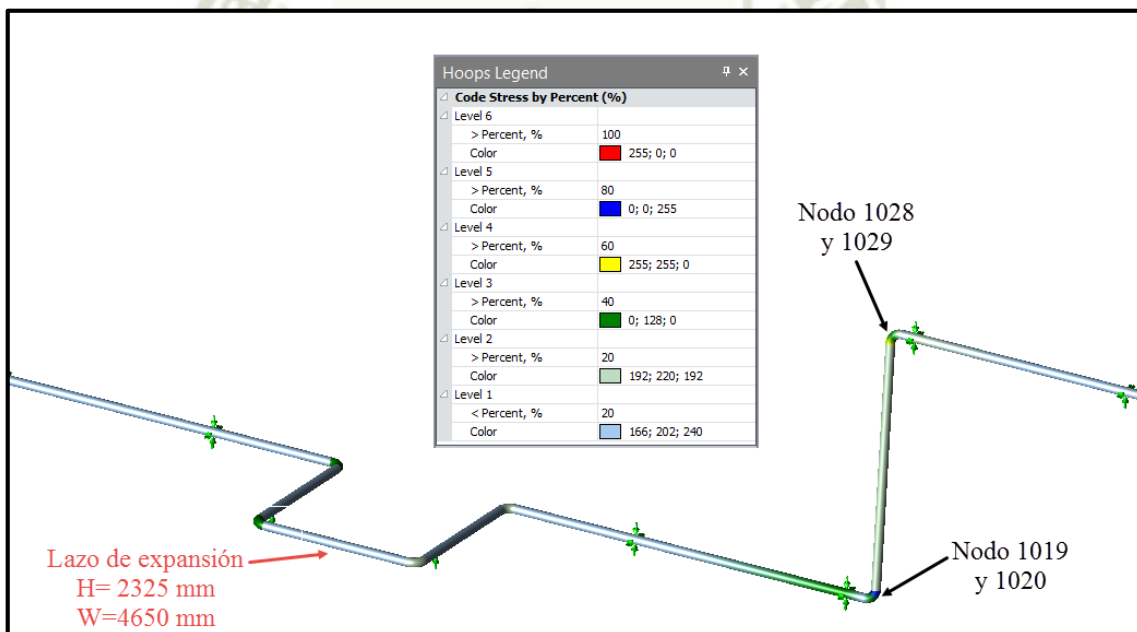


Figura 5.13 Lazo de expansión en soportes de concreto nuevos tramo 01

Fuente: Software Caesar II

- Para los nodos 1100, 1108, 1109, 1213, 1229 y 1230 se procederá hacer un lazo de expansión vertical asimétrico (H= 1650 mm, W=1000 mm), como se ve en la Figura 5.14.

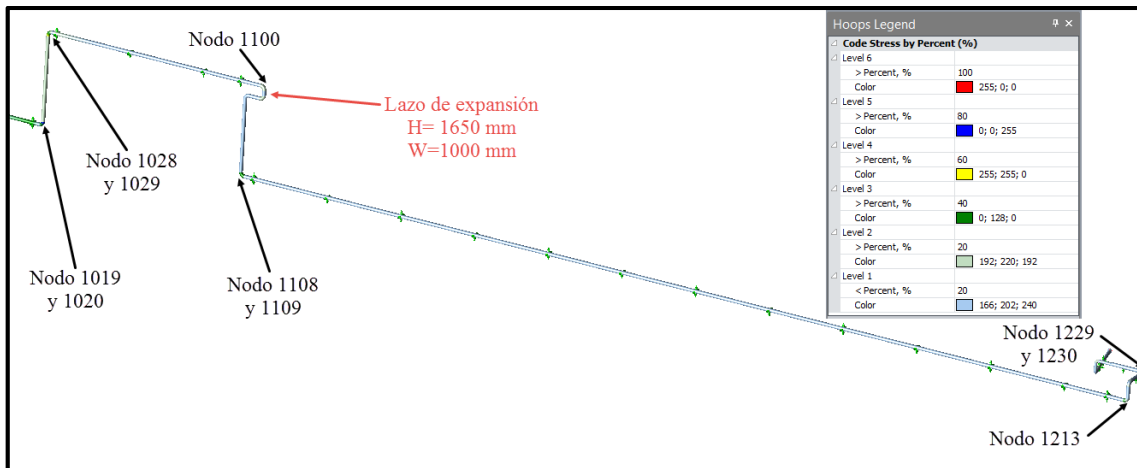


Figura 5.14 Lazo de expansión en puente rack de tuberías nuevo 02

Fuente: Software Caesar II

Al incorporar los lazos de expansión la configuración del sistema cambia, en la Figura 5.15 se aprecia el recorrido final de la línea de carga de GNL.

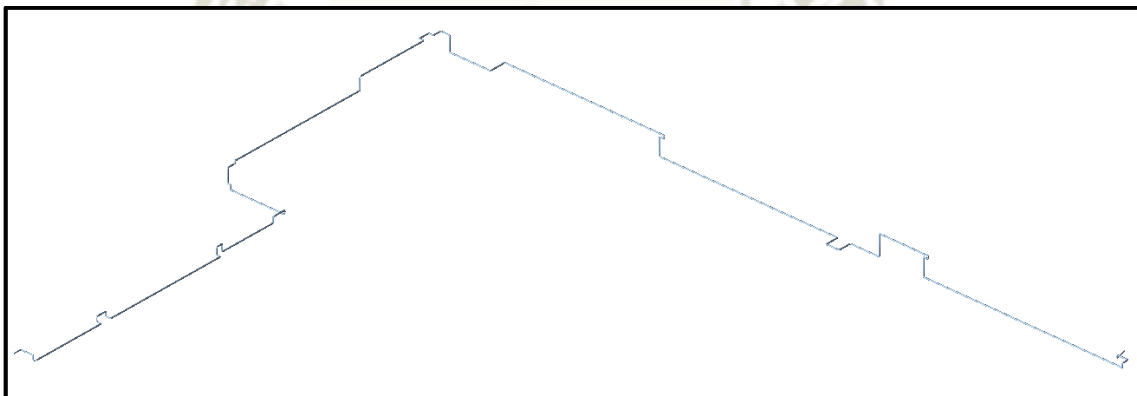


Figura 5.15 Vista isométrica de recorrido final de tubería

Fuente: Software Caesar II

5.5.1. RESUMEN DE RESULTADOS.

- Cumplimiento del Código: (Ver ANEXO 12)

| | | |
|-----------------------|----------|--|
| Highest Stresses: | (KPa) | |
| Ratio (%): | 94.9 | @Node 9953 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15 |
| Code Stress: | 145386.2 | Allowable Stress: 153139.4 |
| Axial Stress: | 30327.9 | @Node 1028 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP |
| Bending Stress: | 246126.8 | @Node 2201 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1 |
| Torsion Stress: | 26414.9 | @Node 139 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1 |
| Hoop Stress: | 59086.2 | @Node 1510 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP |
| Max Stress Intensity: | 254520.0 | @Node 2201 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1 |

- Esfuerzos Máximos para la Prueba Neumática: (Ver ANEXO 13)

| | | |
|-----------------------|----------|----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 1 (HYD) WW+HP |
| Ratio (%): | 50.4 | @Node 630 |
| Code Stress: | 86913.5 | Allowable Stress: 172368.9 |
| Axial Stress: | 30327.9 | @Node 1028 |
| Bending Stress: | 76901.7 | @Node 630 |
| Torsion Stress: | 12737.0 | @Node 6285 |
| Hoop Stress: | 59086.2 | @Node 1510 |
| Max Stress Intensity: | 106118.3 | @Node 630 |

- Esfuerzos Máximos para Carga Sostenida: (Ver ANEXO 13)

| | | |
|-----------------------|---------|----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 4 (SUS) W+P1 |
| Ratio (%): | 44.9 | @Node 630 |
| Code Stress: | 51659.4 | Allowable Stress: 115142.4 |
| Axial Stress: | 7167.9 | @Node 1028 |
| Bending Stress: | 60294.8 | @Node 630 |
| Torsion Stress: | 9987.6 | @Node 6285 |
| Hoop Stress: | 12661.3 | @Node 1510 |
| Max Stress Intensity: | 66687.7 | @Node 630 |

- Esfuerzos Máximos para Carga Ocasional: (Ver ANEXO 13)

| | | |
|-----------------------|----------|--|
| Highest Stresses: | (KPa) | |
| Ratio (%): | 94.9 | @Node 9953 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15 |
| Code Stress: | 145386.2 | Allowable Stress: 153139.4 |
| Axial Stress: | 10298.2 | @Node 750 LOADCASE: 21 (OCC) L21=L4+L14 |
| Bending Stress: | 184452.3 | @Node 9953 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15 |
| Torsion Stress: | 19065.7 | @Node 1219 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15 |
| Hoop Stress: | 12661.3 | @Node 1510 LOADCASE: 19 (OCC) L19=L4+L12 |
| Max Stress Intensity: | 191499.2 | @Node 9953 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15 |

- Esfuerzos Máximos para Carga de Expansión: (Ver ANEXO 13)

| | | |
|-----------------------|----------|-----------------------------|
| Highest Stresses: | (KPa) | LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4 |
| Ratio (%): | 86.2 | @Node 2201 |
| Code Stress: | 224513.9 | Allowable Stress: 260522.0 |
| Axial Stress: | 12174.4 | @Node 1020 |
| Bending Stress: | 221999.0 | @Node 2201 |
| Torsion Stress: | 20997.6 | @Node 139 |
| Hoop Stress: | 0.0 | @Node 2068 |
| Max Stress Intensity: | 228645.0 | @Node 1020 |

- Desplazamientos Máximos: (Ver ANEXO 14)

| Node | DX mm. | DY mm. | DZ mm. | RX deg. | RY deg. | RZ deg. |
|------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 858 | 0.003 | -121.013 | 6.066 | 0.281 | 0 | -0.0001 |
| 859 | 0.003 | -120.788 | 7.897 | 0.5896 | 0 | -0.0001 |
| 860 | 0.003 | -118.206 | 9.506 | 0.8781 | -0.0001 | -0.0001 |
| 863 | 0.004 | -112.126 | 10.47 | 0.9038 | -0.0001 | -0.0001 |
| 864 | 0.004 | -108.114 | 9.37 | 1.1177 | -0.0002 | -0.0001 |
| 865 | 0.005 | -105.734 | 4.995 | 1.3129 | -0.0002 | 0 |
| 867 | 0.004 | -100.682 | -20.995 | 1.5509 | -0.0002 | -0.0001 |
| 871 | 0.004 | -103.532 | -15.759 | 1.3583 | -0.0002 | 0 |

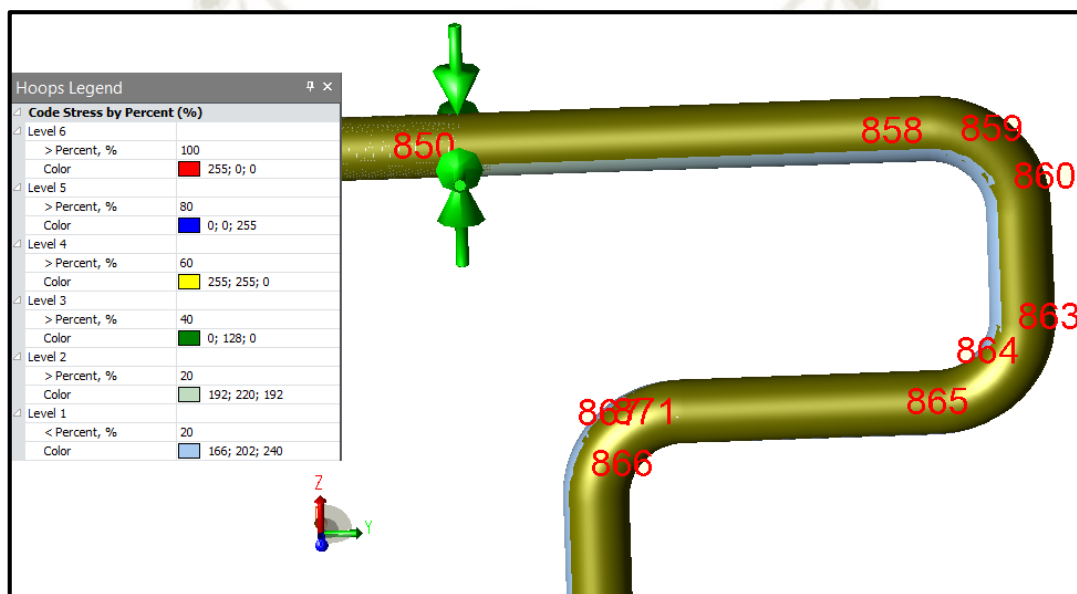


Figura 5.16 Máximo desplazamiento de recorrido modificado

Fuente: Software Caesar II

5.5.2. VERIFICACIÓN DE FUGAS EN LA BRIDA

El presente análisis se realiza en las conexiones con el sistema de tuberías existente en un lado (TIE IN 01) y por el otro lado con el equipo (skid de precarga, TIE IN 02).

- Verificación bajo condición de operación: (Ver ANEXO 15)

| Node | Axial Force N | Bending Moment N.m. | G/C mm. | P Equivalent KPa | Rating Temperature C | Allowable Pressure /Stress | Ratio % |
|--------------|---------------|---------------------|---------|------------------|----------------------|----------------------------|---------|
| 10 20 | 6 | 275 | 196.09 | 635.73 | -160.69 | 1585.79 | 40.09 |
| 1260 1270 | 1102 | 418 | 196.09 | 768.78 | -160.69 | 1585.79 | 48.48 |

5.5.3. CARGAS MAXIMAS EN LA BRIDA DEL SKID DE PRECARGA

Las fuerzas máximas que se muestran en la tabla son las fuerzas máximas sometidas a la brida sin tener en cuenta el caso del análisis.

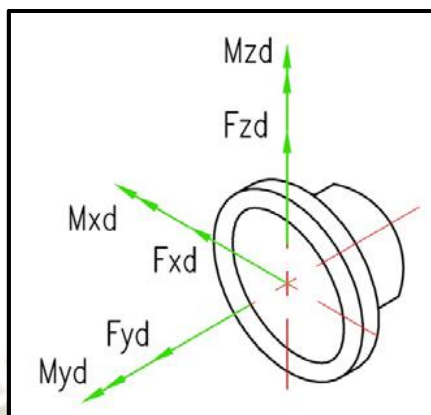


Figura 5.17 Cargas máximas en brida de equipo o skid

Fuente: Elaboración propia

| Node | Forces (N) | | | Moments (N*m) | | |
|--------------------|------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
| | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz |
| 1260-1270 | 3254 | 2394 | 721 | 3255 | 881 | -987 |
| Pre-Skid Allowable | 4647.5 | 3935.8 | 3446.5 | 4752.3 | 2342.3 | 3088.0 |

5.5.4. FUERZAS ADMISIBLES EN LAS REACCIONES DE LOS SOPORTES.

Obtenemos las fuerzas que actúan sobre los soportes que ubicamos en la línea y se contrastan con las fuerzas admisibles de los soportes seleccionados. Para ver las fuerzas admisibles de los soportes seleccionado ver ANEXO 16 y para las fuerzas máximos en soportes de la línea en análisis ver el ANEXO 17.

| Línea de Carga de GNL | | |
|-----------------------|----------|----------|
| Tipo | Diámetro | Cantidad |
| Rigid +Z | 8" | 5 |
| Rigid Z | 8" | 1 |
| Rigid +Z; Guide | 8" | 35 |
| Rigid Z; Guide | 8" | 50 |
| Rigid Z; Guide | 6" | 2 |
| Total | | 93 |

Tabla 5.4 Metrado de soportes para Línea de GNL

Fuente: Elaboración Propia

5.6. ISOMÉTRICOS DE LA LINEA DE GNL.

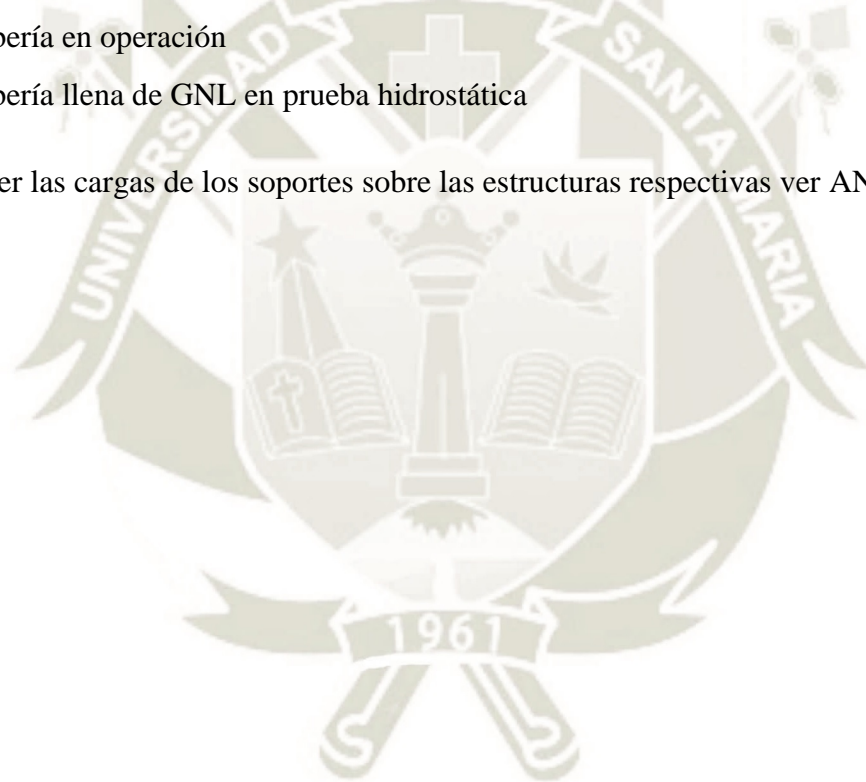
En los isométricos extraídos de este análisis se indica las cotas para el recorrido de la línea y el espaciamiento de soportes de tubería, ver ANEXO 18.

5.7. INFORMACIÓN PARA CONTINUAR CON EL DISEÑO DEL CARGADERO DE GNL.

Para el diseño o modificación de las estructuras que soportan rutas de tuberías a presión como Rack de Tuberías o Soportes de concreto del proyecto del Cargadero de GNL, la carga estará de acuerdo a la concentración y peso de los tubos llenos de GNL y a los accesorios de la línea. Las cargas por tuberías se definen como la carga de la misma tubería (accesorios y contenido), las cuales están divididas en dos categorías.

- Tubería en operación
- Tubería llena de GNL en prueba hidrostática

Para ver las cargas de los soportes sobre las estructuras respectivas ver ANEXO 19.



CONCLUSIONES

- I. Mediante la simulación computacional con el software Caesar II se realizó el análisis de esfuerzos y flexibilidad, donde se identificó los nodos con esfuerzos que excedían lo establecido por el código ASME B31.3 en el recorrido inicial, los cuales se evaluaron y modificaron para un diseño adecuado. El recorrido final cumple con los esfuerzos admisibles.
- II. Se determinó la ubicación respectiva de cada soporte, indicando las cotas y el tag para su posicionamiento a lo largo del recorrido de la línea de carga. Estas dimensiones se pueden ver en los isométricos A3-UCSM-PROY-T-001@008.
- III. El dimensionamiento y ubicación de los lazos de expansión es importante ya que absorben de forma adecuada los esfuerzos que exceden los esfuerzos admisibles en los puntos localizados y también nos permiten reducir costos para evitar usar juntas de expansión. Es importante mencionar que el uso de las juntas de expansión están limitadas para tuberías que contienen fluidos peligrosos o inflamables como es el caso de la línea de carga de gas natural licuado.
- IV. Los esfuerzos con cargas estáticas cumplen con el código ASME B31.3.
- V. Las fuerzas y los momentos en las bridas del skid de precarga no exceden los valores permitidos entregados por el proveedor.
- VI. El esfuerzo flector que se produce en las tuberías por expansión térmica está relacionado con la deformación transversal, el material y diámetro de la tubería. De esta manera, la solución más acertada para disminuir el esfuerzo flector, sería incrementando la longitud de la línea, verificando el espacio para su respectiva instalación.
- VII. Las acciones para solucionar y aliviar los esfuerzos deben ser evaluadas por el ingeniero encargado del análisis, se pueden considerar varias opciones y en paralelo se debe verificar las características como la capacidad para absorción de las deformaciones de flexibilidad, costos del accesorio e instalación, y el espacio requerido para instalación y operación. No hay soluciones únicas.

RECOMENDACIONES

- I. Para analizar líneas o sistemas de tuberías con alto nivel de complejidad se deben realizar con herramientas de cálculo computacional. Ya que mientras más elementos tenga el sistema de tuberías o las cargas de trabajo son críticas, su comportamiento debe ser analizado cuidadosamente. Los cálculos manuales pueden conducir a estimaciones que conllevan a errores de diseño generando altas posibilidades que se produzcan esfuerzos que conlleven a fallas en el sistema o línea.
- II. Para limitar el uso de lazos de expansión también se puede ubicar soportes de tipo “Line Stop”, los cuales limitan el movimiento axial de la línea en análisis, pero al trabajar con tuberías con aislamiento el uso de estos soportes se limita ya que los materiales de aislamiento y chaquetas no necesariamente soportan las fuerzas transmitida por la tubería.
- III. Se debe seleccionar juntas de expansión solo cuando sea necesario, es decir, cuando se tenga limitaciones de espacio para la instalación de un lazo de expansión o la carga a aliviar sea elevada. Además de ser elementos de instalación especializada, tienen costos elevados de procura.
- IV. Cuando se analice líneas con recorridos conceptuales sobre tramos rectos de grandes longitudes, la primera consideración a evaluar será la ubicación de lazos de expansión.
- V. En lo posible la tubería debe tener un recorrido por estructuras, rack de tuberías o soportes de concreto existentes para evitar el diseño de estructuras adicionales para soportar el recorrido de tuberías, esto ayudara a no encarecer el proyecto y usar las estructuras de forma efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

- BP. (June de 2018). *Energy Economics*. Obtenido de BP Statistical Review of World Energy 2018: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- De Lama, G. (2014). Distribución de Gas Natural. *Distribución de Gas Natural*. Moquegua: Osinergmin.
- Kannappan, S. (2008). *Introducción al Análisis de Esfuerzos de Tuberías*. Knoxville, Tennessee: Tennessee Valley Authority.
- Kuntur Transportadora de Gas. (2009). *Anexo1-Demanda y diagnostico de mercado*. Lima.
- Osinerg. (s.f.). *Desarrollo de la Industria del Gas Natural*. Obtenido de http://gasnatural.osinerg.gob.pe/Aplicativos/desarrollo_gas_natural/
- Osinerg. (s.f.). *Proyectos de Gas Natural*. Obtenido de Masificación del uso de Gas Natural en las Ciudades Altos Andinas: <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Proyecto-Masificacion-Ciudades-Andinas-310815.pdf>
- Osinerg. (s.f.). *Proyectos de Gas Natural*. Obtenido de Proyecto Masificación del uso de Gas Natural a Nivel Nacional Concesión Norte: <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Proyecto-Masificacion-Norte-310815.pdf>
- Osinerg. (s.f.). *Proyectos de Gas Natural*. Obtenido de Masificación del uso de Gas Natural a Nivel Nacional Concesión Suroeste: <http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/uploads/GFGN/Proyecto-Masificacion-Suroeste-310815.pdf>
- Osinergmin. (2012). *Sistemas de transporte y distribución de gas natural en el Perú*. Lima: Teps Group.

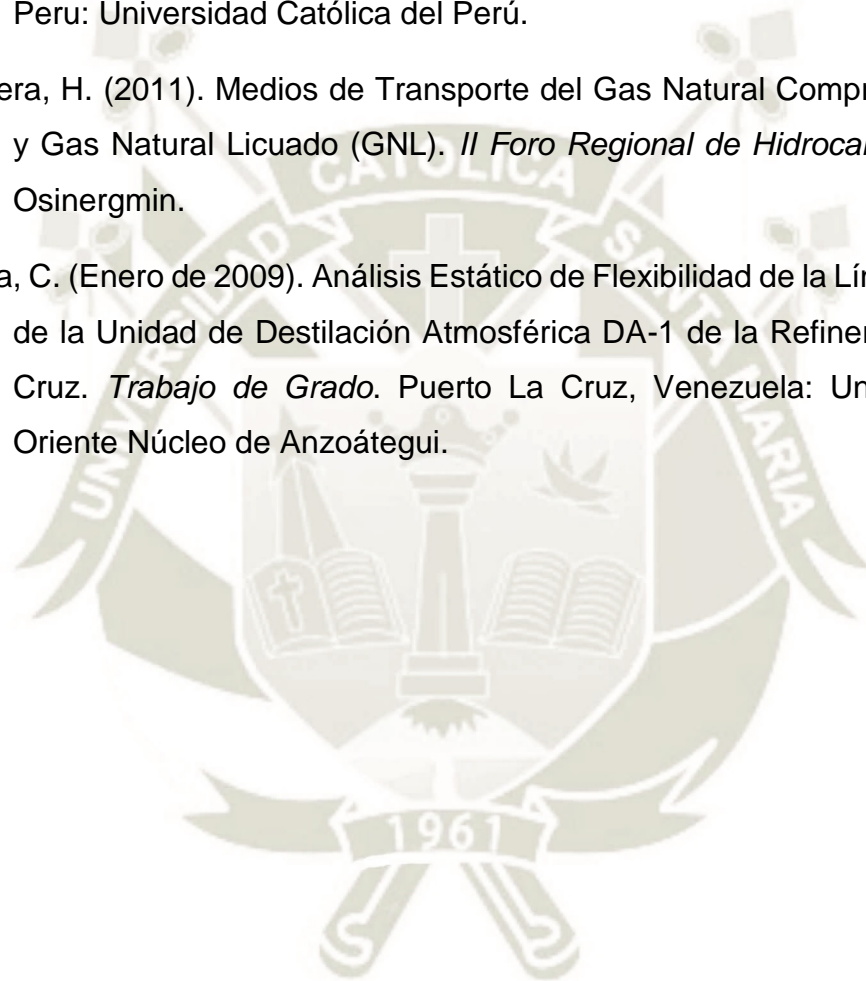
Peng, L.-C. P.-L. (s.f.). *Pipe Stress Engineering*. Houston, Texas, USA: ASME Press.

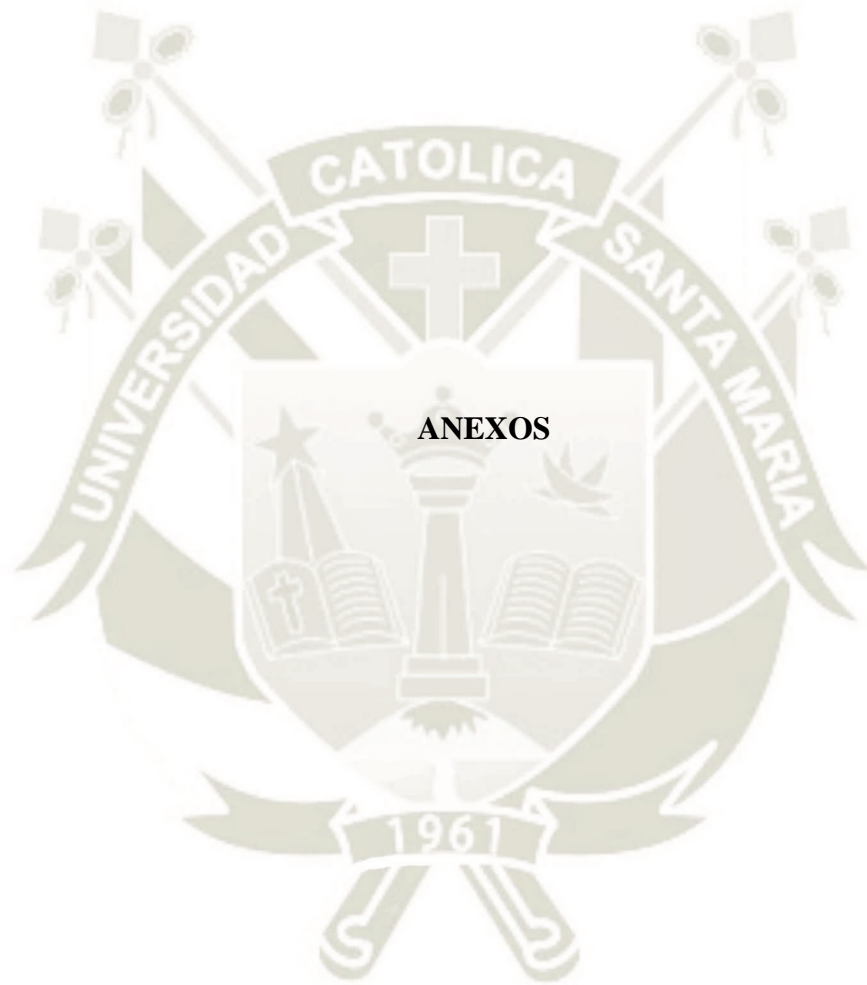
Pezo, R. (2010). *Diseño del ramal de alimentación de 1460 sm³/h de gas natural para la compañía minera Luren*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

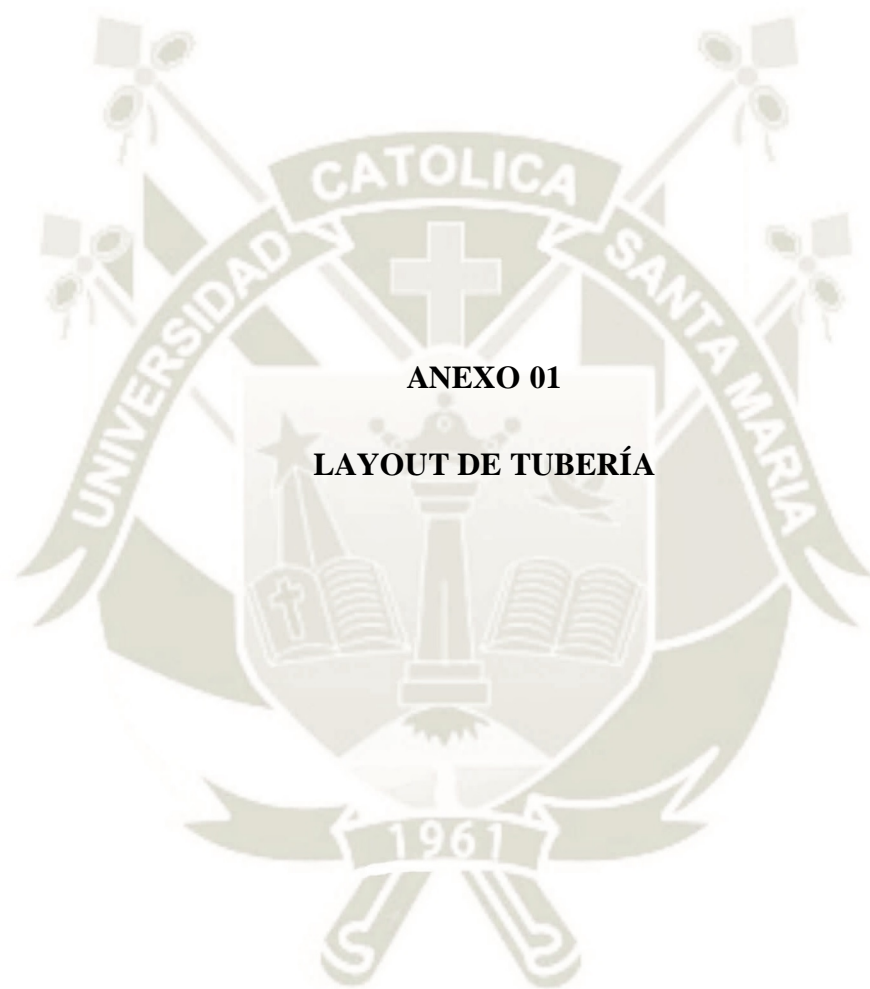
Renteria, M. (Octubre de 2014). *Diseño de Metodología para el Análisis de Flexibilidad en Sistemas de Tuberías . Tesis para Optar el título .* Lima, Peru: Universidad Católica del Perú.

Talavera, H. (2011). *Medios de Transporte del Gas Natural Comprimido (GNC) y Gas Natural Licuado (GNL). II Foro Regional de Hidrocarburos*. Lima: Osinergmin.

Urrieta, C. (Enero de 2009). *Análisis Estático de Flexibilidad de la Línea de Crudo de la Unidad de Destilación Atmosférica DA-1 de la Refinería Puerto La Cruz. Trabajo de Grado*. Puerto La Cruz, Venezuela: Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui.

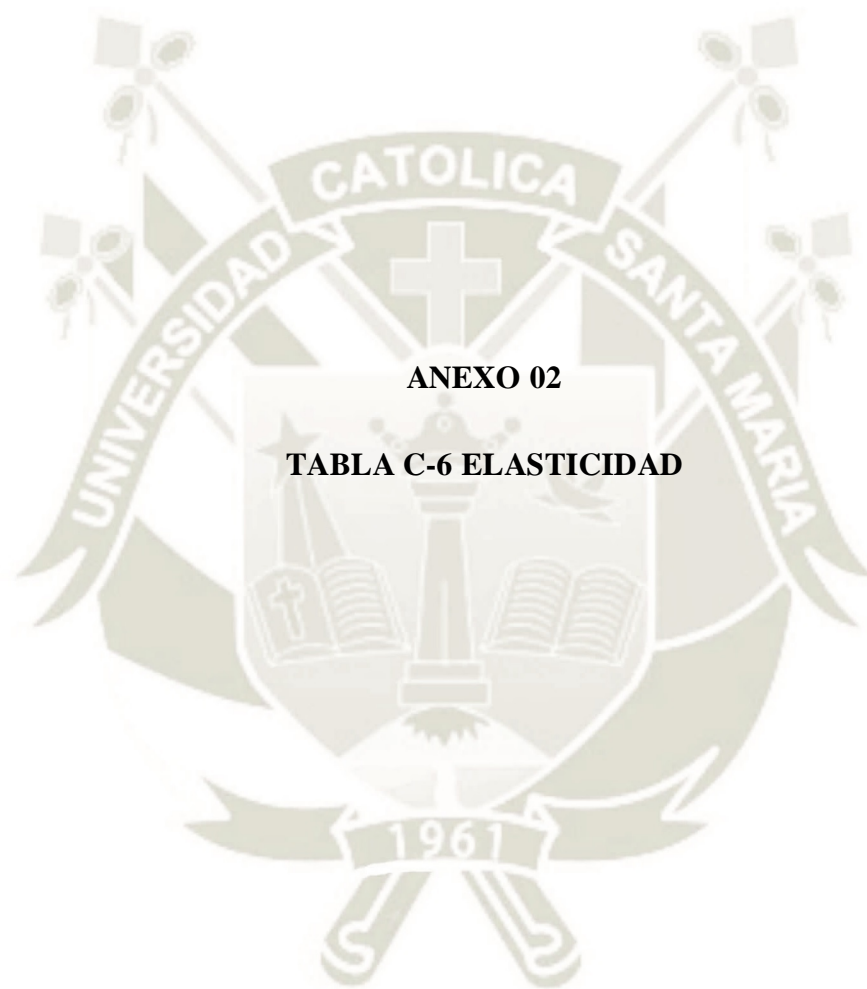






ANEXO 01

LAYOUT DE TUBERÍA



ANEXO 02

TABLA C-6 ELASTICIDAD

(10)

Table C-6 Modulus of Elasticity, U.S. Units, for Metals

| Material | <i>E</i> = Modulus of Elasticity, Msi (Millions of psi), at Temperature, °F | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | -425 | -400 | -350 | -325 | -200 | -100 | 70 | 200 | 300 | 400 |
| Ferrous Metals | | | | | | | | | | |
| Gray cast iron | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 13.4 | 13.2 | 12.9 | 12.6 |
| Carbon steels, C ≤ 0.3% | 31.9 | ... | ... | 31.4 | 30.8 | 30.2 | 29.5 | 28.8 | 28.3 | 27.7 |
| Carbon steels, C > 0.3% | 31.7 | ... | ... | 31.2 | 30.6 | 30.0 | 29.3 | 28.6 | 28.1 | 27.5 |
| Carbon-moly steels | 31.7 | ... | ... | 31.1 | 30.5 | 29.9 | 29.2 | 28.5 | 28.0 | 27.4 |
| Nickel steels, Ni 2%–9% | 30.1 | ... | ... | 29.6 | 29.1 | 28.5 | 27.8 | 27.1 | 26.7 | 26.1 |
| Cr–Mo steels, Cr ½%–2% | 32.1 | ... | ... | 31.6 | 31.0 | 30.4 | 29.7 | 29.0 | 28.5 | 27.9 |
| Cr–Mo steels, Cr 2¼%–3% | 33.1 | ... | ... | 32.6 | 32.0 | 31.4 | 30.6 | 29.8 | 29.4 | 28.8 |
| Cr–Mo steels, Cr 5%–9% | 33.4 | ... | ... | 32.9 | 32.3 | 31.7 | 30.9 | 30.1 | 29.7 | 29.0 |
| Chromium steels, Cr 12%, 17%, 27% | 31.8 | ... | ... | 31.2 | 30.7 | 30.1 | 29.2 | 28.5 | 27.9 | 27.3 |
| Austenitic steels (TP304, 310, 316, 321, 347) | 30.8 | ... | ... | 30.3 | 29.7 | 29.0 | 28.3 | 27.6 | 27.0 | 26.5 |
| Copper and Copper Alloys (UNS Nos.) | | | | | | | | | | |
| Comp. and leaded Sn–bronze (C83600, C92200) | ... | ... | ... | 14.8 | 14.6 | 14.4 | 14.0 | 13.7 | 13.4 | 13.2 |
| Naval brass, Si- & Al–bronze (C46400, C65500, C95200, C95400) | ... | ... | ... | 15.9 | 15.6 | 15.4 | 15.0 | 14.6 | 14.4 | 14.1 |
| Copper (C11000) | ... | ... | ... | 16.9 | 16.6 | 16.5 | 16.0 | 15.6 | 15.4 | 15.0 |
| Copper, red brass, Al–bronze (C10200, C12000, C12200, C12500, C14200, C23000, C61400) | ... | ... | ... | 18.0 | 17.7 | 17.5 | 17.0 | 16.6 | 16.3 | 16.0 |
| 90Cu–10Ni (C70600) | ... | ... | ... | 19.0 | 18.7 | 18.5 | 18.0 | 17.6 | 17.3 | 16.9 |
| Leaded Ni–bronze | ... | ... | ... | 20.1 | 19.8 | 19.6 | 19.0 | 18.5 | 18.2 | 17.9 |
| 80Cu–20Ni (C71000) | ... | ... | ... | 21.2 | 20.8 | 20.6 | 20.0 | 19.5 | 19.2 | 18.8 |
| 70Cu–30Ni (C71500) | ... | ... | ... | 23.3 | 22.9 | 22.7 | 22.0 | 21.5 | 21.1 | 20.7 |
| Nickel and Nickel Alloys (UNS Nos.) | | | | | | | | | | |
| Alloy 400 N04400 | 28.3 | ... | ... | 27.8 | 27.3 | 26.8 | 26.0 | 25.4 | 25.0 | 24.7 |
| Alloy N06035 | 29.2 | ... | ... | 29.1 | 29.0 | 28.8 | 28.5 | 28.1 | 27.8 | 27.5 |
| Alloys N06007, N08320 | 30.3 | ... | ... | 29.5 | 29.2 | 28.6 | 27.8 | 27.1 | 26.7 | 26.4 |
| Alloys N08800, N08810, N06002 | 31.1 | ... | ... | 30.5 | 29.9 | 29.4 | 28.5 | 27.8 | 27.4 | 27.1 |
| Alloys N06455, N10276 | 32.5 | ... | ... | 31.6 | 31.3 | 30.6 | 29.8 | 29.1 | 28.6 | 28.3 |
| Alloys N02200, N02201, N06625 | 32.7 | ... | ... | 32.1 | 31.5 | 30.9 | 30.0 | 29.3 | 28.8 | 28.5 |
| Alloy N06600 | 33.8 | ... | ... | 33.2 | 32.6 | 31.9 | 31.0 | 30.2 | 29.9 | 29.5 |
| Alloy N10001 | 33.9 | ... | ... | 33.3 | 32.7 | 32.0 | 31.1 | 30.3 | 29.9 | 29.5 |
| Alloy N10665 | 34.2 | ... | ... | 33.3 | 33.0 | 32.3 | 31.4 | 30.6 | 30.1 | 29.8 |
| Alloy N10675 | ... | ... | ... | 33.7 | 32.9 | 32.3 | 31.4 | 30.7 | 30.2 | 29.8 |
| Unalloyed Titanium | | | | | | | | | | |
| Grades 1, 2, 3, and 7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 15.5 | 15.0 | 14.6 | 14.0 |
| Zirconium Alloys | | | | | | | | | | |
| R60702 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 |
| R60705 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 |

Table C-6 Modulus of Elasticity, U.S. Units, for Metals

(10)

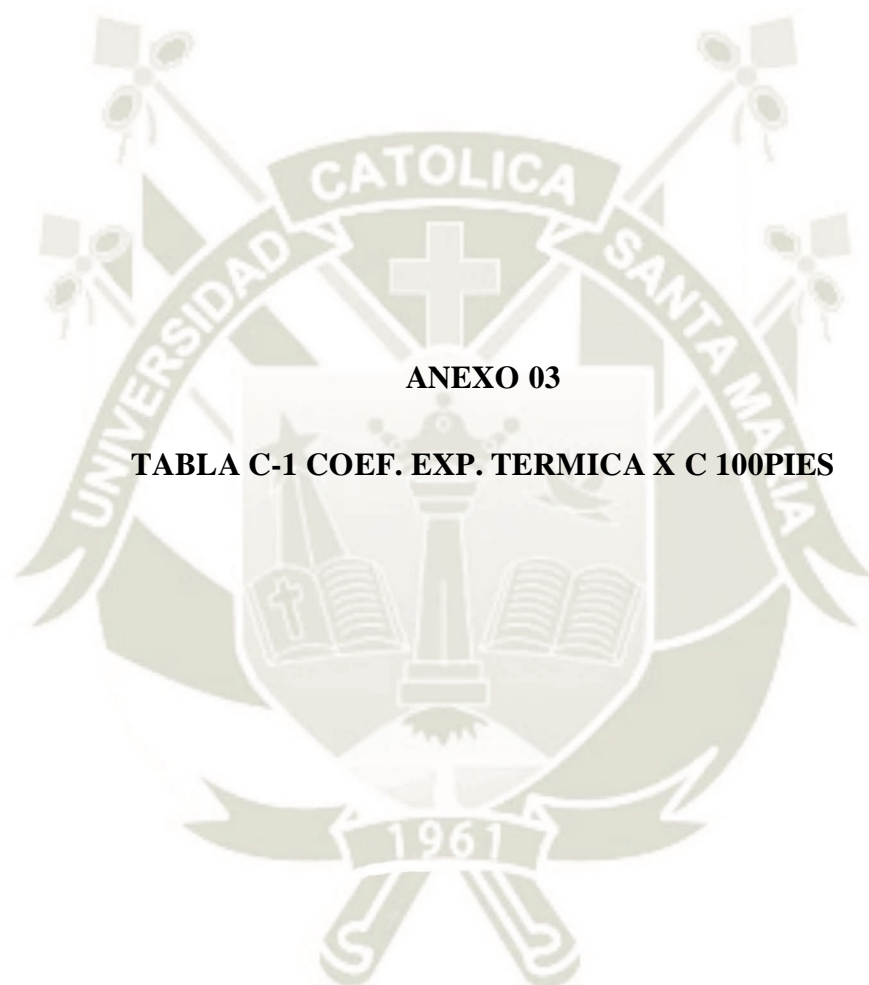
| <i>E</i> = Modulus of Elasticity, Msi (Millions of psi), at Temperature, °F | | | | | | | | | | | Material |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | |
| | | | | | | | | | | | Ferrous Metals |
| | | | | | | | | | | | Gray cast iron |
| 12.2 | 11.7 | 11.0 | 10.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Carbon steels, C ≤ 0.3% |
| 27.3 | 26.7 | 25.5 | 24.2 | 22.4 | 20.4 | 18.0 | ... | ... | ... | ... | Carbon steels, C > 0.3% |
| 27.1 | 26.5 | 25.3 | 24.0 | 22.2 | 20.2 | 17.9 | 15.4 | ... | ... | ... | Carbon-moly steels |
| 27.0 | 26.4 | 25.3 | 23.9 | 22.2 | 20.1 | 17.8 | 15.3 | ... | ... | ... | |
| | | | | | | | | | | | Nickel steels, Ni 2%–9% |
| 25.7 | 25.2 | 24.6 | 23.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Cr–Mo steels, Cr 1/2%–2% |
| 27.5 | 26.9 | 26.3 | 25.5 | 24.8 | 23.9 | 23.0 | 21.8 | 20.5 | 18.9 | ... | Cr–Mo steels, Cr 2 1/4%–3% |
| 28.3 | 27.7 | 27.1 | 26.3 | 25.6 | 24.6 | 23.7 | 22.5 | 21.1 | 19.4 | ... | Cr–Mo steels, Cr 5%–9% |
| 28.6 | 28.0 | 27.3 | 26.1 | 24.7 | 22.7 | 20.4 | 18.2 | 15.5 | 12.7 | ... | |
| | | | | | | | | | | | Chromium steels, Cr 12%, 17%, 27% |
| 26.7 | 26.1 | 25.6 | 24.7 | 22.2 | 21.5 | 19.1 | 16.6 | ... | ... | ... | Austenitic steels (TP304, 310, 316, 321, 347) |
| 25.8 | 25.3 | 24.8 | 24.1 | 23.5 | 22.8 | 22.1 | 21.2 | 20.2 | 19.2 | 18.1 | |
| | | | | | | | | | | | Copper and Copper Alloys (UNS Nos.) |
| | | | | | | | | | | | Comp. and leaded Sn–bronze (C83600, C92200) |
| 12.9 | 12.5 | 12.0 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Naval brass, Si- & Al–bronze (C46400, C65500, C95200, C95400) |
| 13.8 | 13.4 | 12.8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Copper (C11000) |
| 14.7 | 14.2 | 13.7 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Copper, red brass, Al–bronze (C10200, C12000, C12200, C12500, C14200, C23000, C61400) |
| 15.6 | 15.1 | 14.5 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| | | | | | | | | | | | 90Cu–10Ni (C70600) |
| 16.6 | 16.0 | 15.4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Leaded Ni-bronze |
| 17.5 | 16.9 | 16.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 80Cu–20Ni (C71000) |
| 18.4 | 17.8 | 17.1 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 70Cu–30Ni (C71500) |
| 20.2 | 19.6 | 18.8 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| | | | | | | | | | | | Nickel and Nickel Alloys (UNS Nos.) |
| | | | | | | | | | | | Alloy 400 N04400 |
| 24.3 | 24.1 | 23.7 | 23.1 | 22.6 | 22.1 | 21.7 | 21.2 | ... | ... | ... | Alloy N06035 |
| 27.1 | 26.7 | 26.3 | 25.8 | 25.3 | 24.8 | 24.2 | 23.6 | ... | ... | ... | Alloys N06007, N08320 |
| 26.0 | 25.7 | 25.3 | 24.7 | 24.2 | 23.6 | 23.2 | 22.7 | ... | ... | ... | Alloys N08800, N08810, N06002 |
| 26.6 | 26.4 | 25.9 | 25.4 | 24.8 | 24.2 | 23.8 | 23.2 | ... | ... | ... | Alloys N06455, N10276 |
| 27.9 | 27.6 | 27.1 | 26.5 | 25.9 | 25.3 | 24.9 | 24.3 | ... | ... | ... | |
| | | | | | | | | | | | Alloys N02200, N02201, N06625 |
| 28.1 | 27.8 | 27.3 | 26.7 | 26.1 | 25.5 | 25.1 | 24.5 | ... | ... | ... | Alloy N06600 |
| 29.0 | 28.7 | 28.2 | 27.6 | 27.0 | 26.4 | 25.9 | 25.3 | ... | ... | ... | Alloy N10001 |
| 29.1 | 28.8 | 28.3 | 27.7 | 27.1 | 26.4 | 26.0 | 25.3 | ... | ... | ... | Alloy N10665 |
| 29.4 | 29.0 | 28.6 | 27.9 | 27.3 | 26.7 | 26.2 | 25.6 | ... | ... | ... | Alloy N10675 |
| 29.3 | 28.9 | 28.4 | 27.9 | 27.4 | 26.8 | 26.2 | 25.6 | 24.9 | 24.2 | 23.4 | |
| | | | | | | | | | | | Unalloyed Titanium |
| 13.3 | 12.6 | 11.9 | 11.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | Grades 1, 2, 3, and 7 |
| | | | | | | | | | | | Zirconium Alloys |
| 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | R60702 |
| 14.2 | 14.2 | 14.2 | 14.2 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | R60705 |

Table C-6 Modulus of Elasticity, U.S. Units, for Metals (Cont'd)

| Material | <i>E</i> = Modulus of Elasticity, Msi (Millions of psi), at Temperature, °F | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | -425 | -400 | -350 | -325 | -200 | -100 | 70 | 200 | 300 | 400 |
| Aluminum and Aluminum Alloys (UNS Nos.) | | | | | | | | | | |
| Grades 443, 1060, 1100, 3003, 3004, 6061, 6063 (A24430, A91060, A91100, A93003, A93004, A96061, A96063) | 11.4 | ... | ... | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.0 | 9.6 | 9.2 | 8.7 |
| Grades 5052, 5154, 5454, 5652 (A95052, A95154, A95454, A95652) | 11.6 | ... | ... | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.2 | 9.7 | 9.4 | 8.9 |
| Grades 356, 5083, 5086, 5456 (A03560, A95083, A95086, A95456) | 11.7 | ... | ... | 11.4 | 11.1 | 10.8 | 10.3 | 9.8 | 9.5 | 9.0 |

GENERAL NOTE: For Code references to this Appendix, see para. 319.3.2. These data are for use in the absence of more applicable data. It is the designer's responsibility to verify that materials are suitable for the intended service at the temperatures shown.





ANEXO 03

TABLA C-1 COEF. EXP. TERMICA X C 100PIES

(10) **Table C-1 Total Thermal Expansion, U.S. Units, for Metals**
 Total Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, in./100 ft

| Temp., °F | Material | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-------------------|---------------|------|
| | Carbon Steel Carbon-Moly- Low-Chrome (Through 3Cr-Mo) | 5Cr-Mo Through 9Cr-Mo | Austenitic Stainless Steels 18Cr-8Ni | 12Cr, 17Cr, 25Cr-20Ni | UNS N04400 67Ni-30Cu | 3 ¹ / ₂ Ni | Copper and Copper Alloys | Titanium Gr. 1,2,3,7, 11,12,16,17 | Titanium Gr. 9 | UNS N10675 | |
| -450 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -3.93 | ... | ... | ... |
| -425 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -3.93 | ... | ... | ... |
| -400 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -3.91 | ... | ... | ... |
| -375 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -3.87 | ... | ... | ... |
| -350 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -3.79 | ... | ... | ... |
| -325 | -2.37 | -2.22 | -3.85 | -2.04 | ... | -2.62 | -2.25 | -3.67 | ... | ... | ... |
| -300 | -2.24 | -2.10 | -3.63 | -1.92 | ... | -2.50 | -2.17 | -3.53 | ... | ... | ... |
| -275 | -2.11 | -1.98 | -3.41 | -1.80 | ... | -2.38 | -2.07 | -3.36 | ... | ... | ... |
| -250 | -1.98 | -1.86 | -3.19 | -1.68 | ... | -2.26 | -1.96 | -3.17 | ... | ... | ... |
| -225 | -1.85 | -1.74 | -2.96 | -1.57 | ... | -2.14 | -1.86 | -2.97 | ... | ... | ... |
| -200 | -1.71 | -1.62 | -2.73 | -1.46 | ... | -2.02 | -1.76 | -2.76 | ... | ... | ... |
| -175 | -1.58 | -1.50 | -2.50 | -1.35 | ... | -1.90 | -1.62 | -2.53 | ... | ... | ... |
| -150 | -1.45 | -1.37 | -2.27 | -1.24 | ... | -1.79 | -1.48 | -2.30 | ... | ... | ... |
| -125 | -1.30 | -1.23 | -2.01 | -1.11 | ... | -1.59 | -1.33 | -2.06 | ... | ... | ... |
| -100 | -1.15 | -1.08 | -1.75 | -0.98 | ... | -1.38 | -1.17 | -1.81 | ... | ... | ... |
| -75 | -1.00 | -0.94 | -1.50 | -0.85 | ... | -1.18 | -1.01 | -1.56 | ... | ... | ... |
| -50 | -0.84 | -0.79 | -1.24 | -0.72 | ... | -0.98 | -0.84 | -1.30 | ... | ... | ... |
| -25 | -0.68 | -0.63 | -0.98 | -0.57 | ... | -0.77 | -0.67 | -1.04 | ... | ... | ... |
| 0 | -0.49 | -0.46 | -0.72 | -0.42 | ... | -0.57 | -0.50 | -0.77 | ... | ... | ... |
| 25 | -0.32 | -0.30 | -0.46 | -0.27 | ... | -0.37 | -0.32 | -0.50 | ... | ... | ... |
| 50 | -0.14 | -0.13 | -0.21 | -0.12 | ... | -0.20 | -0.15 | -0.22 | ... | ... | ... |
| 70 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 0.23 | 0.22 | 0.34 | 0.20 | 0.32 | 0.28 | 0.23 | 0.34 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| 125 | 0.42 | 0.40 | 0.62 | 0.36 | 0.58 | 0.52 | 0.42 | 0.63 | 0.35 | 0.35 | 0.40 |
| 150 | 0.61 | 0.58 | 0.90 | 0.53 | 0.84 | 0.75 | 0.61 | 0.91 | 0.50 | 0.50 | 0.60 |
| 175 | 0.80 | 0.76 | 1.18 | 0.69 | 1.10 | 0.99 | 0.81 | 1.20 | 0.60 | 0.65 | 0.75 |
| 200 | 0.99 | 0.94 | 1.46 | 0.86 | 1.37 | 1.22 | 1.01 | 1.49 | 0.70 | 0.80 | 0.90 |
| 225 | 1.21 | 1.13 | 1.75 | 1.03 | 1.64 | 1.46 | 1.21 | 1.79 | 0.85 | 0.95 | 1.10 |
| 250 | 1.40 | 1.33 | 2.03 | 1.21 | 1.91 | 1.71 | 1.42 | 2.09 | 1.00 | 1.10 | 1.30 |
| 275 | 1.61 | 1.52 | 2.32 | 1.38 | 2.18 | 1.96 | 1.63 | 2.38 | 1.15 | 1.25 | 1.45 |
| 300 | 1.82 | 1.71 | 2.61 | 1.56 | 2.45 | 2.21 | 1.84 | 2.68 | 1.30 | 1.40 | 1.60 |
| 325 | 2.04 | 1.90 | 2.90 | 1.74 | 2.72 | 2.44 | 2.05 | 2.99 | 1.45 | 1.55 | 1.80 |
| 350 | 2.26 | 2.10 | 3.20 | 1.93 | 2.99 | 2.68 | 2.26 | 3.29 | 1.60 | 1.70 | 2.00 |
| 375 | 2.48 | 2.30 | 3.50 | 2.11 | 3.26 | 2.91 | 2.47 | 3.59 | 1.75 | 1.85 | 2.20 |
| 400 | 2.70 | 2.50 | 3.80 | 2.30 | 3.53 | 3.25 | 2.69 | 3.90 | 1.90 | 2.00 | 2.40 |
| 425 | 2.93 | 2.72 | 4.10 | 2.50 | 3.80 | 3.52 | 2.91 | 4.21 | 2.05 | 2.15 | 2.60 |
| 450 | 3.16 | 2.93 | 4.41 | 2.69 | 4.07 | 3.79 | 3.13 | 4.51 | 2.20 | 2.30 | 2.80 |
| 475 | 3.39 | 3.14 | 4.71 | 2.89 | 4.34 | 4.06 | 3.35 | 4.82 | 2.35 | 2.45 | 3.00 |
| 500 | 3.62 | 3.35 | 5.01 | 3.08 | 4.61 | 4.33 | 3.58 | 5.14 | 2.50 | 2.60 | 3.20 |
| 525 | 3.86 | 3.58 | 5.31 | 3.28 | 4.88 | 4.61 | 3.81 | 5.45 | 2.65 | 2.75 | 3.40 |
| 550 | 4.11 | 3.80 | 5.62 | 3.49 | 5.15 | 4.90 | 4.04 | 5.76 | 2.80 | 2.90 | 3.60 |

Table C-1 Total Thermal Expansion, U.S. Units, for Metals
 Total Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, in./100 ft

(10)

| Material | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-----------|
| Aluminum | Gray Cast Iron | Bronze | Brass | 70Cu-30Ni | UNS N08XXX Series Ni-Fe-Cr | UNS N06XXX Series Ni-Cr-Fe | UNS N06035 Series Ni-Cr-Mo | UNS N06200 Series Ni-Cr-Mo | Ductile Iron | Temp., °F |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -450 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -425 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -400 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -375 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -350 |
| -4.68 | ... | -3.98 | -3.88 | -3.15 | ... | ... | ... | ... | ... | -325 |
| -4.46 | ... | -3.74 | -3.64 | -2.87 | ... | ... | ... | ... | ... | -300 |
| -4.21 | ... | -3.50 | -3.40 | -2.70 | ... | ... | ... | ... | ... | -275 |
| -3.97 | ... | -3.26 | -3.16 | -2.53 | ... | ... | ... | ... | ... | -250 |
| -3.71 | ... | -3.02 | -2.93 | -2.36 | ... | ... | ... | ... | ... | -225 |
| -3.44 | ... | -2.78 | -2.70 | -2.19 | ... | ... | ... | ... | -1.51 | -200 |
| -3.16 | ... | -2.54 | -2.47 | -2.12 | ... | ... | ... | ... | -1.41 | -175 |
| -2.88 | ... | -2.31 | -2.24 | -1.95 | ... | ... | ... | ... | -1.29 | -150 |
| -2.57 | ... | -2.06 | -2.00 | -1.74 | ... | ... | ... | ... | -1.16 | -125 |
| -2.27 | ... | -1.81 | -1.76 | -1.53 | ... | ... | ... | ... | -1.04 | -100 |
| -1.97 | ... | -1.56 | -1.52 | -1.33 | ... | ... | ... | ... | -0.91 | -75 |
| -1.67 | ... | -1.32 | -1.29 | -1.13 | ... | ... | ... | ... | -0.77 | -50 |
| -1.32 | ... | -1.25 | -1.02 | -0.89 | ... | ... | ... | ... | -0.62 | -25 |
| -0.97 | ... | -0.77 | -0.75 | -0.66 | ... | ... | ... | ... | -0.46 | 0 |
| -0.63 | ... | -0.49 | -0.48 | -0.42 | ... | ... | ... | ... | -0.23 | 25 |
| -0.28 | ... | -0.22 | -0.21 | -0.19 | ... | ... | ... | ... | -0.14 | 50 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 |
| 0.46 | 0.21 | 0.36 | 0.35 | 0.31 | 0.28 | 0.26 | 0.24 | 0.25 | 0.21 | 100 |
| 0.85 | 0.38 | 0.66 | 0.64 | 0.56 | 0.52 | 0.48 | 0.44 | 0.46 | 0.39 | 125 |
| 1.23 | 0.55 | 0.96 | 0.94 | 0.82 | 0.76 | 0.70 | 0.65 | 0.66 | 0.57 | 150 |
| 1.62 | 0.73 | 1.26 | 1.23 | 1.07 | 0.99 | 0.92 | 0.86 | 0.87 | 0.76 | 175 |
| 2.00 | 0.90 | 1.56 | 1.52 | 1.33 | 1.23 | 1.15 | 1.06 | 1.08 | 0.94 | 200 |
| 2.41 | 1.08 | 1.86 | 1.83 | 1.59 | 1.49 | 1.38 | 1.27 | 1.28 | 1.13 | 225 |
| 2.83 | 1.27 | 2.17 | 2.14 | 1.86 | 1.76 | 1.61 | 1.49 | 1.49 | 1.33 | 250 |
| 3.24 | 1.45 | 2.48 | 2.45 | 2.13 | 2.03 | 1.85 | 1.70 | 1.70 | 1.53 | 275 |
| 3.67 | 1.64 | 2.79 | 2.76 | 2.40 | 2.30 | 2.09 | 1.91 | 1.90 | 1.72 | 300 |
| 4.09 | 1.83 | 3.11 | 3.08 | 2.68 | 2.59 | 2.32 | 2.13 | 2.11 | 1.93 | 325 |
| 4.52 | 2.03 | 3.42 | 3.41 | 2.96 | 2.88 | 2.56 | 2.35 | 2.32 | 2.13 | 350 |
| 4.95 | 2.22 | 3.74 | 3.73 | 3.24 | 3.18 | 2.80 | 2.57 | 2.53 | 2.36 | 375 |
| 5.39 | 2.42 | 4.05 | 4.05 | 3.52 | 3.48 | 3.05 | 2.79 | 2.73 | 2.56 | 400 |
| 5.83 | 2.62 | 4.37 | 4.38 | ... | 3.76 | 3.29 | 3.01 | 2.94 | 2.79 | 425 |
| 6.28 | 2.83 | 4.69 | 4.72 | ... | 4.04 | 3.53 | 3.24 | 3.15 | 3.04 | 450 |
| 6.72 | 3.03 | 5.01 | 5.06 | ... | 4.31 | 3.78 | 3.46 | 3.37 | 3.28 | 475 |
| 7.17 | 3.24 | 5.33 | 5.40 | ... | 4.59 | 4.02 | 3.69 | 3.59 | 3.54 | 500 |
| 7.63 | 3.46 | 5.65 | 5.75 | ... | 4.87 | 4.27 | 3.92 | 3.80 | 3.76 | 525 |
| 8.10 | 3.67 | 5.98 | 6.10 | ... | 5.16 | 4.52 | 4.15 | 4.02 | 3.99 | 550 |

(10) **Table C-1 Total Thermal Expansion, U.S. Units, for Metals (Cont'd)**
 Total Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, in./100 ft

| Temp., °F | Material | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------|---|------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-------------------|---------------|
| | Carbon Steel Carbon-Moly- Low-Chrome (Through 3Cr-Mo) | 5Cr-Mo Through 9Cr-Mo | Austenitic Stainless Steels 18Cr-8Ni | 12Cr, 17Cr, 27Cr | 25Cr-20Ni | UNS N04400 67Ni-30Cu | 3 ¹ / ₂ Ni | Copper and Copper Alloys | Titanium Gr. 1,2,3,7, 11,12,16,17 | Titanium Gr. 9 | UNS N10675 |
| 575 | 4.35 | 4.02 | 5.93 | 3.69 | 5.42 | 5.18 | 4.27 | 6.07 | 2.95 | 3.10 | 3.80 |
| 600 | 4.60 | 4.24 | 6.24 | 3.90 | 5.69 | 5.46 | 4.50 | 6.09 | 3.10 | 3.30 | 4.00 |
| 625 | 4.86 | 4.47 | 6.55 | 4.10 | 5.96 | 5.75 | 4.74 | ... | 3.25 | ... | 4.20 |
| 650 | 5.11 | 4.69 | 6.87 | 4.31 | 6.23 | 6.05 | 4.98 | ... | 3.40 | ... | 4.40 |
| 675 | 5.37 | 4.92 | 7.18 | 4.52 | 6.50 | 6.34 | 5.22 | ... | 3.60 | ... | 4.65 |
| 700 | 5.63 | 5.14 | 7.50 | 4.73 | 6.77 | 6.64 | 5.46 | ... | 3.80 | ... | 4.90 |
| 725 | 5.90 | 5.38 | 7.82 | 4.94 | 7.04 | 6.94 | 5.70 | ... | 3.95 | ... | 5.10 |
| 750 | 6.16 | 5.62 | 8.15 | 5.16 | 7.31 | 7.25 | 5.94 | ... | 4.10 | ... | 5.30 |
| 775 | 6.43 | 5.86 | 8.47 | 5.38 | 7.58 | 7.55 | 6.18 | ... | 4.30 | ... | 5.50 |
| 800 | 6.70 | 6.10 | 8.80 | 5.60 | 7.85 | 7.85 | 6.43 | ... | 4.50 | ... | 5.70 |
| 825 | 6.97 | 6.34 | 9.13 | 5.82 | 8.15 | 8.16 | 6.68 | ... | ... | ... | 5.90 |
| 850 | 7.25 | 6.59 | 9.46 | 6.05 | 8.45 | 8.48 | 6.93 | ... | ... | ... | 6.10 |
| 875 | 7.53 | 6.83 | 9.79 | 6.27 | 8.75 | 8.80 | 7.18 | ... | ... | ... | 6.30 |
| 900 | 7.81 | 7.07 | 10.12 | 6.49 | 9.05 | 9.12 | 7.43 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 925 | 8.08 | 7.31 | 10.46 | 6.71 | 9.35 | 9.44 | 7.68 | ... | ... | ... | 6.70 |
| 950 | 8.35 | 7.56 | 10.80 | 6.94 | 9.65 | 9.77 | 7.93 | ... | ... | ... | 6.90 |
| 975 | 8.62 | 7.81 | 11.14 | 7.17 | 9.95 | 10.09 | 8.17 | ... | ... | ... | 7.10 |
| 1000 | 8.89 | 8.06 | 11.48 | 7.40 | 10.25 | 10.42 | 8.41 | ... | ... | ... | 7.30 |
| 1025 | 9.17 | 8.30 | 11.82 | 7.62 | 10.55 | 10.75 | ... | ... | ... | ... | 7.50 |
| 1050 | 9.46 | 8.55 | 12.16 | 7.95 | 10.85 | 11.09 | ... | ... | ... | ... | 7.70 |
| 1075 | 9.75 | 8.80 | 12.50 | 8.18 | 11.15 | 11.43 | ... | ... | ... | ... | 7.90 |
| 1100 | 10.04 | 9.05 | 12.84 | 8.31 | 11.45 | 11.77 | ... | ... | ... | ... | 8.10 |
| 1125 | 10.31 | 9.28 | 13.18 | 8.53 | 11.78 | 12.11 | ... | ... | ... | ... | 8.30 |
| 1150 | 10.57 | 9.52 | 13.52 | 8.76 | 12.11 | 12.47 | ... | ... | ... | ... | 8.50 |
| 1175 | 10.83 | 9.76 | 13.86 | 8.98 | 12.44 | 12.81 | ... | ... | ... | ... | 8.75 |
| 1200 | 11.10 | 10.00 | 14.20 | 9.20 | 12.77 | 13.15 | ... | ... | ... | ... | 9.00 |
| 1225 | 11.38 | 10.26 | 14.54 | 9.42 | 13.10 | 13.50 | ... | ... | ... | ... | 9.20 |
| 1250 | 11.66 | 10.53 | 14.88 | 9.65 | 13.43 | 13.86 | ... | ... | ... | ... | 9.40 |
| 1275 | 11.94 | 10.79 | 15.22 | 9.88 | 13.76 | 14.22 | ... | ... | ... | ... | 9.65 |
| 1300 | 12.22 | 11.06 | 15.56 | 10.11 | 14.09 | 14.58 | ... | ... | ... | ... | 9.90 |
| 1325 | 12.50 | 11.30 | 15.90 | 10.33 | 14.39 | 14.94 | ... | ... | ... | ... | 10.10 |
| 1350 | 12.78 | 11.55 | 16.24 | 10.56 | 14.69 | 15.30 | ... | ... | ... | ... | 10.50 |
| 1375 | 13.06 | 11.80 | 16.58 | 10.78 | 14.99 | 15.66 | ... | ... | ... | ... | 10.80 |
| 1400 | 13.34 | 12.05 | 16.92 | 11.01 | 15.29 | 16.02 | ... | ... | ... | ... | 11.10 |
| 1425 | ... | ... | 17.30 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 11.50 |
| 1450 | ... | ... | 17.69 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 11.90 |
| 1475 | ... | ... | 18.08 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 12.30 |
| 1500 | ... | ... | 18.47 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 12.70 |

GENERAL NOTE: For Code references to this Appendix, see para. 319.3.1. These data are for use in the absence of more applicable data. It is the designer's responsibility to verify that materials are suitable for the intended service at the temperatures shown.

Table C-1 Total Thermal Expansion, U.S. Units, for Metals (Cont'd)
 Total Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, in./100 ft

(10)

| Material | | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-----------|--|
| Aluminum | Gray Cast Iron | Bronze | Brass | 70Cu-30Ni | UNS N08XXX Series Ni-Fe-Cr | UNS N06XXX Series Ni-Cr-Fe | UNS N06035 Series Ni-Cr-Mo | UNS N06200 Series Ni-Cr-Mo | Ductile Iron | Temp., °F | |
| 8.56 | 3.89 | 6.31 | 6.45 | ... | 5.44 | 4.77 | 4.39 | 4.24 | 4.22 | 575 | |
| 9.03 | 4.11 | 6.64 | 6.80 | ... | 5.72 | 5.02 | 4.62 | 4.46 | 4.44 | 600 | |
| ... | 4.34 | 6.96 | 7.16 | ... | 6.01 | 5.27 | 4.86 | 4.68 | 4.66 | 625 | |
| ... | 4.57 | 7.29 | 7.53 | ... | 6.30 | 5.53 | 5.09 | 4.91 | 4.90 | 650 | |
| ... | 4.80 | 7.62 | 7.89 | ... | 6.58 | 5.79 | 5.33 | 5.13 | 5.14 | 675 | |
| ... | 5.03 | 7.95 | 8.26 | ... | 6.88 | 6.05 | 5.58 | 5.36 | 5.39 | 700 | |
| ... | 5.26 | 8.28 | 8.64 | ... | 7.17 | 6.31 | 5.82 | 5.59 | 5.60 | 725 | |
| ... | 5.50 | 8.62 | 9.02 | ... | 7.47 | 6.57 | 6.06 | 5.83 | 5.85 | 750 | |
| ... | 5.74 | 8.96 | 9.40 | ... | 7.76 | 6.84 | 6.31 | 6.06 | 6.10 | 775 | |
| ... | 5.98 | 9.30 | 9.78 | ... | 8.06 | 7.10 | 6.56 | 6.30 | 6.35 | 800 | |
| ... | 6.22 | 9.64 | 10.17 | ... | 8.35 | ... | 6.81 | 6.54 | 6.59 | 825 | |
| ... | 6.47 | 9.99 | 10.57 | ... | 8.66 | ... | 7.06 | 6.78 | 6.85 | 850 | |
| ... | 6.72 | 10.33 | 10.96 | ... | 8.95 | ... | 7.31 | 7.02 | 7.09 | 875 | |
| ... | 6.97 | 10.68 | 11.35 | ... | 9.26 | ... | 7.57 | 7.29 | 7.35 | 900 | |
| ... | 7.23 | 11.02 | 11.75 | ... | 9.56 | ... | 7.82 | 7.51 | 7.64 | 925 | |
| ... | 7.50 | 11.37 | 12.16 | ... | 9.87 | ... | 8.08 | 7.76 | 7.86 | 950 | |
| ... | 7.76 | 11.71 | 12.57 | ... | 10.18 | ... | 8.34 | 8.01 | 8.11 | 975 | |
| ... | 8.02 | 12.05 | 12.98 | ... | 10.49 | ... | 8.60 | 8.26 | 8.35 | 1000 | |
| ... | ... | 12.40 | 13.39 | ... | 10.80 | ... | 8.87 | 8.52 | ... | 1025 | |
| ... | ... | 12.76 | 13.81 | ... | 11.11 | ... | 9.13 | 8.77 | ... | 1050 | |
| ... | ... | 13.11 | 14.23 | ... | 11.42 | ... | 9.40 | 9.02 | ... | 1075 | |
| ... | ... | 13.47 | 14.65 | ... | 11.74 | ... | 9.67 | 9.28 | ... | 1100 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 12.05 | ... | 9.94 | 9.53 | ... | 1125 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 12.38 | ... | 10.21 | 9.79 | ... | 1150 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 12.69 | ... | 10.48 | 10.05 | ... | 1175 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 13.02 | ... | 10.75 | 10.30 | ... | 1200 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 13.36 | ... | ... | ... | ... | 1225 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 13.71 | ... | ... | ... | ... | 1250 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 14.04 | ... | ... | ... | ... | 1275 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 14.39 | ... | ... | ... | ... | 1300 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 14.74 | ... | ... | ... | ... | 1325 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 15.10 | ... | ... | ... | ... | 1350 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 15.44 | ... | ... | ... | ... | 1375 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 15.80 | ... | ... | ... | ... | 1400 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 16.16 | ... | ... | ... | ... | 1425 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 16.53 | ... | ... | ... | ... | 1450 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 16.88 | ... | ... | ... | ... | 1475 | |
| ... | ... | ... | ... | ... | 17.25 | ... | ... | ... | ... | 1500 | |



ANEXO 04

TABLA C-3 COEF. EXP. TERMICA

(10)

Table C-3 Thermal Coefficients, U.S. Units, for Metals
 Mean Coefficient of Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, $\mu\text{in./in.-}^\circ\text{F}$

| Temp., °F | Material | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------|---|------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-------------------|---------------|
| | Carbon Steel Carbon-Moly- Low-Chrome (Through 3Cr-Mo) | 5Cr-Mo Through 9Cr-Mo | Austenitic Stainless Steels 18Cr-8Ni | 12Cr, 17Cr, 27Cr | 25Cr-20Ni | UNS N04400 67Ni-30Cu | 3 ¹ / ₂ Ni | Copper and Copper Alloys | Titanium Gr. 1,2,3,7, 11,12,16,17 | Titanium Gr. 9 | UNS N10675 |
| -450 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 6.30 | ... | ... | ... |
| -425 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 6.61 | ... | ... | ... |
| -400 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 6.93 | ... | ... | ... |
| -375 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.24 | ... | ... | ... |
| -350 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.51 | ... | ... | ... |
| -325 | 5.00 | 4.70 | 8.15 | 4.30 | ... | 5.55 | 4.76 | 7.74 | ... | ... | ... |
| -300 | 5.07 | 4.77 | 8.21 | 4.36 | ... | 5.72 | 4.90 | 7.94 | ... | ... | ... |
| -275 | 5.14 | 4.84 | 8.28 | 4.41 | ... | 5.89 | 5.01 | 8.11 | ... | ... | ... |
| -250 | 5.21 | 4.91 | 8.34 | 4.47 | ... | 6.06 | 5.15 | 8.26 | ... | ... | ... |
| -225 | 5.28 | 4.98 | 8.41 | 4.53 | ... | 6.23 | 5.30 | 8.40 | ... | ... | ... |
| -200 | 5.35 | 5.05 | 8.47 | 4.59 | ... | 6.40 | 5.45 | 8.51 | ... | ... | ... |
| -175 | 5.42 | 5.12 | 8.54 | 4.64 | ... | 6.57 | 5.52 | 8.62 | ... | ... | ... |
| -150 | 5.50 | 5.20 | 8.60 | 4.70 | ... | 6.75 | 5.59 | 8.72 | ... | ... | ... |
| -125 | 5.57 | 5.26 | 8.66 | 4.78 | ... | 6.85 | 5.67 | 8.81 | ... | ... | ... |
| -100 | 5.65 | 5.32 | 8.75 | 4.85 | ... | 6.95 | 5.78 | 8.89 | ... | ... | ... |
| -75 | 5.72 | 5.38 | 8.83 | 4.93 | ... | 7.05 | 5.83 | 8.97 | ... | ... | ... |
| -50 | 5.80 | 5.45 | 8.90 | 5.00 | ... | 7.15 | 5.88 | 9.04 | ... | ... | ... |
| -25 | 5.85 | 5.51 | 8.94 | 5.05 | ... | 7.22 | 5.94 | 9.11 | ... | ... | ... |
| 0 | 5.90 | 5.56 | 8.98 | 5.10 | ... | 7.28 | 6.00 | 9.17 | ... | ... | ... |
| 25 | 5.96 | 5.62 | 9.03 | 5.14 | ... | 7.35 | 6.08 | 9.23 | ... | ... | ... |
| 50 | 6.01 | 5.67 | 9.07 | 5.19 | ... | 7.41 | 6.16 | 9.28 | ... | ... | ... |
| 70 | 6.07 | 5.73 | 9.11 | 5.24 | ... | 7.48 | 6.25 | 9.32 | 4.60 | 4.70 | 5.70 |
| 100 | 6.13 | 5.79 | 9.16 | 5.29 | ... | 7.55 | 6.33 | 9.39 | 4.70 | 4.70 | 5.70 |
| 125 | 6.19 | 5.85 | 9.20 | 5.34 | ... | 7.62 | 6.36 | 9.43 | 4.70 | 4.75 | 5.75 |
| 150 | 6.25 | 5.92 | 9.25 | 5.40 | ... | 7.70 | 6.39 | 9.48 | 4.70 | 4.80 | 5.80 |
| 175 | 6.31 | 5.98 | 9.29 | 5.45 | ... | 7.77 | 6.42 | 9.52 | 4.70 | 4.80 | 5.80 |
| 200 | 6.38 | 6.04 | 9.34 | 5.50 | 8.79 | 7.84 | 6.45 | 9.56 | 4.70 | 4.80 | 5.80 |
| 225 | 6.43 | 6.08 | 9.37 | 5.54 | 8.81 | 7.89 | 6.50 | 9.60 | 4.75 | 4.85 | 5.85 |
| 250 | 6.49 | 6.12 | 9.41 | 5.58 | 8.83 | 7.93 | 6.55 | 9.64 | 4.80 | 4.90 | 5.90 |
| 275 | 6.54 | 6.15 | 9.44 | 5.62 | 8.85 | 7.98 | 6.60 | 9.68 | 4.80 | 4.90 | 5.90 |
| 300 | 6.60 | 6.19 | 9.47 | 5.66 | 8.87 | 8.02 | 6.65 | 9.71 | 4.80 | 4.90 | 5.90 |
| 325 | 6.65 | 6.23 | 9.50 | 5.70 | 8.89 | 8.07 | 6.69 | 9.74 | 4.80 | 4.95 | 5.95 |
| 350 | 6.71 | 6.27 | 9.53 | 5.74 | 8.90 | 8.11 | 6.73 | 9.78 | 4.80 | 5.00 | 6.00 |
| 375 | 6.76 | 6.30 | 9.56 | 5.77 | 8.91 | 8.16 | 6.77 | 9.81 | 4.80 | 5.00 | 6.05 |
| 400 | 6.82 | 6.34 | 9.59 | 5.81 | 8.92 | 8.20 | 6.80 | 9.84 | 4.80 | 5.00 | 6.10 |
| 425 | 6.87 | 6.38 | 9.62 | 5.85 | 8.92 | 8.25 | 6.83 | 9.86 | 4.80 | 5.05 | 6.10 |
| 450 | 6.92 | 6.42 | 9.65 | 5.89 | 8.92 | 8.30 | 6.86 | 9.89 | 4.80 | 5.10 | 6.10 |
| 475 | 6.97 | 6.46 | 9.67 | 5.92 | 8.92 | 8.35 | 6.89 | 9.92 | 4.85 | 5.10 | 6.15 |
| 500 | 7.02 | 6.50 | 9.70 | 5.96 | 8.93 | 8.40 | 6.93 | 9.94 | 4.90 | 5.10 | 6.20 |
| 525 | 7.07 | 6.54 | 9.73 | 6.00 | 8.93 | 8.45 | 6.97 | 9.97 | 4.90 | 5.10 | 6.25 |
| 550 | 7.12 | 6.58 | 9.76 | 6.05 | 8.93 | 8.49 | 7.01 | 9.99 | 4.90 | 5.10 | 6.30 |

Table C-3 Thermal Coefficients, U.S. Units, for Metals
 Mean Coefficient of Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, $\mu\text{in./in.-}^\circ\text{F}$

(10)

| Material | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-----------|
| Aluminum | Gray Cast Iron | Bronze | Brass | 70Cu-30Ni | UNS N08XXX Series Ni-Fe-Cr | UNS N06XXX Series Ni-Cr-Fe | UNS N06035 Series Ni-Cr-Mo | UNS N06200 Series Ni-Cr-Mo | Ductile Iron | Temp., °F |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -450 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -425 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -400 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -375 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | -350 |
| 9.90 | ... | 8.40 | 8.20 | 6.65 | ... | ... | ... | ... | ... | -325 |
| 10.04 | ... | 8.45 | 8.24 | 6.76 | ... | ... | ... | ... | ... | -300 |
| 10.18 | ... | 8.50 | 8.29 | 6.86 | ... | ... | ... | ... | ... | -275 |
| 10.33 | ... | 8.55 | 8.33 | 6.97 | ... | ... | ... | ... | ... | -250 |
| 10.47 | ... | 8.60 | 8.37 | 7.08 | ... | ... | ... | ... | ... | -225 |
| 10.61 | ... | 8.65 | 8.41 | 7.19 | ... | ... | ... | ... | 4.65 | -200 |
| 10.76 | ... | 8.70 | 8.46 | 7.29 | ... | ... | ... | ... | 4.76 | -175 |
| 10.90 | ... | 8.75 | 8.50 | 7.40 | ... | ... | ... | ... | 4.87 | -150 |
| 11.08 | ... | 8.85 | 8.61 | 7.50 | ... | ... | ... | ... | 4.98 | -125 |
| 11.25 | ... | 8.95 | 8.73 | 7.60 | ... | ... | ... | ... | 5.10 | -100 |
| 11.43 | ... | 9.05 | 8.84 | 7.70 | ... | ... | ... | ... | 5.20 | -75 |
| 11.60 | ... | 9.15 | 8.95 | 7.80 | ... | ... | ... | ... | 5.30 | -50 |
| 11.73 | ... | 9.23 | 9.03 | 7.87 | ... | ... | ... | ... | 5.40 | -25 |
| 11.86 | ... | 9.32 | 9.11 | 7.94 | ... | ... | ... | ... | 5.50 | 0 |
| 11.99 | ... | 9.40 | 9.18 | 8.02 | ... | ... | ... | ... | 5.58 | 25 |
| 12.12 | ... | 9.49 | 9.26 | 8.09 | ... | ... | ... | ... | 5.66 | 50 |
| 12.25 | ... | 9.57 | 9.34 | 8.16 | ... | 7.13 | 6.68 | 6.90 | 5.74 | 70 |
| 12.39 | ... | 9.66 | 9.42 | 8.24 | ... | 7.20 | 6.71 | 6.90 | 5.82 | 100 |
| 12.53 | ... | 9.75 | 9.51 | 8.31 | ... | 7.25 | 6.74 | 6.90 | 5.87 | 125 |
| 12.67 | ... | 9.85 | 9.59 | 8.39 | ... | 7.30 | 6.76 | 6.90 | 5.92 | 150 |
| 12.81 | ... | 9.93 | 9.68 | 8.46 | ... | 7.35 | 6.79 | 6.90 | 5.97 | 175 |
| 12.95 | 5.75 | 10.03 | 9.76 | 8.54 | 7.90 | 7.40 | 6.82 | 6.90 | 6.02 | 200 |
| 13.03 | 5.80 | 10.05 | 9.82 | 8.58 | 8.01 | 7.44 | 6.85 | 6.90 | 6.08 | 225 |
| 13.12 | 5.84 | 10.08 | 9.88 | 8.63 | 8.12 | 7.48 | 6.88 | 6.90 | 6.14 | 250 |
| 13.20 | 5.89 | 10.10 | 9.94 | 8.67 | 8.24 | 7.52 | 6.90 | 6.90 | 6.20 | 275 |
| 13.28 | 5.93 | 10.12 | 10.00 | 8.71 | 8.35 | 7.56 | 6.93 | 6.90 | 6.25 | 300 |
| 13.36 | 5.97 | 10.15 | 10.06 | 8.76 | 8.46 | 7.60 | 6.96 | 6.90 | 6.31 | 325 |
| 13.44 | 6.02 | 10.18 | 10.11 | 8.81 | 8.57 | 7.63 | 6.99 | 6.90 | 6.37 | 350 |
| 13.52 | 6.06 | 10.20 | 10.17 | 8.85 | 8.69 | 7.67 | 7.01 | 6.90 | 6.43 | 375 |
| 13.60 | 6.10 | 10.23 | 10.23 | 8.90 | 8.80 | 7.70 | 7.04 | 6.90 | 6.48 | 400 |
| 13.68 | 6.15 | 10.25 | 10.29 | ... | 8.82 | 7.72 | 7.07 | 6.90 | 6.57 | 425 |
| 13.75 | 6.19 | 10.28 | 10.35 | ... | 8.85 | 7.75 | 7.10 | 6.91 | 6.66 | 450 |
| 13.83 | 6.24 | 10.30 | 10.41 | ... | 8.87 | 7.77 | 7.13 | 6.93 | 6.75 | 475 |
| 13.90 | 6.28 | 10.32 | 10.47 | ... | 8.90 | 7.80 | 7.15 | 6.94 | 6.85 | 500 |
| 13.98 | 6.33 | 10.35 | 10.53 | ... | 8.92 | 7.82 | 7.18 | 6.96 | 6.88 | 525 |
| 14.05 | 6.38 | 10.38 | 10.58 | ... | 8.95 | 7.85 | 7.21 | 6.97 | 6.92 | 550 |

(10)

Table C-3 Thermal Coefficients, U.S. Units, for Metals (Cont'd)
 Mean Coefficient of Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, $\mu\text{in./in.-}^\circ\text{F}$

| Temp., °F | Material | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-----------------------------|---|------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|-------------------|---------------|
| | Carbon Steel Carbon-Moly- Low-Chrome (Through 3Cr-Mo) | 5Cr-Mo Through 9Cr-Mo | Austenitic Stainless Steels 18Cr-8Ni | 12Cr, 17Cr, 27Cr | 25Cr-20Ni | UNS N04400 67Ni-30Cu | 3 ¹ / ₂ Ni | Copper and Copper Alloys | Titanium Gr. 1,2,3,7, 11,12,16,17 | Titanium Gr. 9 | UNS N10675 |
| 575 | 7.17 | 6.62 | 9.79 | 6.09 | 8.93 | 8.54 | 7.04 | 10.1 | 4.90 | 5.15 | 6.30 |
| 600 | 7.23 | 6.66 | 9.82 | 6.13 | 8.94 | 8.58 | 7.08 | 10.04 | 4.90 | 5.20 | 6.30 |
| 625 | 7.28 | 6.70 | 9.85 | 6.17 | 8.94 | 8.63 | 7.12 | ... | 4.90 | ... | 6.35 |
| 650 | 7.33 | 6.73 | 9.87 | 6.20 | 8.95 | 8.68 | 7.16 | ... | 4.90 | ... | 6.40 |
| 675 | 7.38 | 6.77 | 9.90 | 6.23 | 8.95 | 8.73 | 7.19 | ... | 4.95 | ... | 6.40 |
| 700 | 7.44 | 6.80 | 9.92 | 6.26 | 8.96 | 8.78 | 7.22 | ... | 5.00 | ... | 6.40 |
| 725 | 7.49 | 6.84 | 9.95 | 6.29 | 8.96 | 8.83 | 7.25 | ... | 5.00 | ... | 6.45 |
| 750 | 7.54 | 6.88 | 9.99 | 6.33 | 8.96 | 8.87 | 7.29 | ... | 5.00 | ... | 6.50 |
| 775 | 7.59 | 6.92 | 10.02 | 6.36 | 8.96 | 8.92 | 7.31 | ... | 5.05 | ... | 6.50 |
| 800 | 7.65 | 6.96 | 10.05 | 6.39 | 8.97 | 8.96 | 7.34 | ... | 5.10 | ... | 6.50 |
| 825 | 7.70 | 7.00 | 10.08 | 6.42 | 8.97 | 9.01 | 7.37 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 850 | 7.75 | 7.03 | 10.11 | 6.46 | 8.98 | 9.06 | 7.40 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 875 | 7.79 | 7.07 | 10.13 | 6.49 | 8.99 | 9.11 | 7.43 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 900 | 7.84 | 7.10 | 10.16 | 6.52 | 9.00 | 9.16 | 7.45 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 925 | 7.87 | 7.13 | 10.19 | 6.55 | 9.05 | 9.21 | 7.47 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 950 | 7.91 | 7.16 | 10.23 | 6.58 | 9.10 | 9.25 | 7.49 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 975 | 7.94 | 7.19 | 10.26 | 6.60 | 9.15 | 9.30 | 7.52 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 1000 | 7.97 | 7.22 | 10.29 | 6.63 | 9.18 | 9.34 | 7.55 | ... | ... | ... | 6.50 |
| 1025 | 8.01 | 7.25 | 10.32 | 6.65 | 9.20 | 9.39 | ... | ... | ... | ... | 6.55 |
| 1050 | 8.05 | 7.27 | 10.34 | 6.68 | 9.22 | 9.43 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1075 | 8.08 | 7.30 | 10.37 | 6.70 | 9.24 | 9.48 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1100 | 8.12 | 7.32 | 10.39 | 6.72 | 9.25 | 9.52 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1125 | 8.14 | 7.34 | 10.41 | 6.74 | 9.29 | 9.57 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1150 | 8.16 | 7.37 | 10.44 | 6.75 | 9.33 | 9.61 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1175 | 8.17 | 7.39 | 10.46 | 6.77 | 9.36 | 9.66 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1200 | 8.19 | 7.41 | 10.48 | 6.78 | 9.39 | 9.70 | ... | ... | ... | ... | 6.60 |
| 1225 | 8.21 | 7.43 | 10.50 | 6.80 | 9.43 | 9.75 | ... | ... | ... | ... | 6.65 |
| 1250 | 8.24 | 7.45 | 10.51 | 6.82 | 9.47 | 9.79 | ... | ... | ... | ... | 6.70 |
| 1275 | 8.26 | 7.47 | 10.53 | 6.83 | 9.50 | 9.84 | ... | ... | ... | ... | 6.70 |
| 1300 | 8.28 | 7.49 | 10.54 | 6.85 | 9.53 | 9.88 | ... | ... | ... | ... | 6.70 |
| 1325 | 8.30 | 7.51 | 10.56 | 6.86 | 9.53 | 9.92 | ... | ... | ... | ... | 6.75 |
| 1350 | 8.32 | 7.52 | 10.57 | 6.88 | 9.54 | 9.96 | ... | ... | ... | ... | 6.80 |
| 1375 | 8.34 | 7.54 | 10.59 | 6.89 | 9.55 | 10.00 | ... | ... | ... | ... | 6.90 |
| 1400 | 8.36 | 7.55 | 10.60 | 6.90 | 9.56 | 10.04 | ... | ... | ... | ... | 7.00 |
| 1425 | ... | ... | 10.64 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.10 |
| 1450 | ... | ... | 10.68 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.20 |
| 1475 | ... | ... | 10.72 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.30 |
| 1500 | ... | ... | 10.77 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 7.40 |

GENERAL NOTE: For Code references to this Appendix, see para. 319.3.1. These data are for use in the absence of more applicable data. It is the designer's responsibility to verify that materials are suitable for the intended service at the temperatures shown.

Table C-3 Thermal Coefficients, U.S. Units, for Metals (Cont'd)
 Mean Coefficient of Linear Thermal Expansion Between 70°F and Indicated Temperature, $\mu\text{in./in.-}^\circ\text{F}$

(10)

| Material | | | | | | | | | | |
|----------|----------------|--------|-------|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-----------|
| Aluminum | Gray Cast Iron | Bronze | Brass | 70Cu-30Ni | UNS N08XXX Series Ni-Fe-Cr | UNS N06XXX Series Ni-Cr-Fe | UNS N06035 Series Ni-Cr-Mo | UNS N06200 Series Ni-Cr-Mo | Ductile Iron | Temp., °F |
| 14.13 | 6.42 | 10.41 | 10.64 | ... | 8.97 | 7.88 | 7.24 | 6.99 | 6.95 | 575 |
| 14.20 | 6.47 | 10.44 | 10.69 | ... | 9.00 | 7.90 | 7.26 | 7.01 | 6.98 | 600 |
| ... | 6.52 | 10.46 | 10.75 | ... | 9.02 | 7.92 | 7.29 | 7.03 | 7.02 | 625 |
| ... | 6.56 | 10.48 | 10.81 | ... | 9.05 | 7.95 | 7.32 | 7.05 | 7.04 | 650 |
| ... | 6.61 | 10.50 | 10.86 | ... | 9.07 | 7.98 | 7.35 | 7.07 | 7.08 | 675 |
| ... | 6.65 | 10.52 | 10.92 | ... | 9.10 | 8.00 | 7.38 | 7.09 | 7.11 | 700 |
| ... | 6.70 | 10.55 | 10.98 | ... | 9.12 | 8.02 | 7.40 | 7.12 | 7.14 | 725 |
| ... | 6.74 | 10.57 | 11.04 | ... | 9.15 | 8.05 | 7.46 | 7.14 | 7.18 | 750 |
| ... | 6.79 | 10.60 | 11.10 | ... | 9.17 | 8.08 | 7.46 | 7.17 | 7.22 | 775 |
| ... | 6.83 | 10.62 | 11.16 | ... | 9.20 | 8.10 | 7.49 | 7.19 | 7.25 | 800 |
| ... | 6.87 | 10.65 | 11.22 | ... | 9.22 | ... | 7.51 | 7.22 | 7.27 | 825 |
| ... | 6.92 | 10.67 | 11.28 | ... | 9.25 | ... | 7.54 | 7.24 | 7.31 | 850 |
| ... | 6.96 | 10.70 | 11.34 | ... | 9.27 | ... | 7.57 | 7.27 | 7.34 | 875 |
| ... | 7.00 | 10.72 | 11.40 | ... | 9.30 | ... | 7.60 | 7.30 | 7.37 | 900 |
| ... | 7.05 | 10.74 | 11.46 | ... | 9.32 | ... | 7.62 | 7.32 | 7.41 | 925 |
| ... | 7.10 | 10.76 | 11.52 | ... | 9.35 | ... | 7.65 | 7.35 | 7.44 | 950 |
| ... | 7.14 | 10.78 | 11.57 | ... | 9.37 | ... | 7.68 | 7.38 | 7.47 | 975 |
| ... | 7.19 | 10.80 | 11.63 | ... | 9.40 | ... | 7.71 | 7.40 | 7.50 | 1000 |
| ... | ... | 10.83 | 11.69 | ... | 9.42 | ... | 7.74 | 7.43 | ... | 1025 |
| ... | ... | 10.85 | 11.74 | ... | 9.45 | ... | 7.76 | 7.46 | ... | 1050 |
| ... | ... | 10.88 | 11.80 | ... | 9.47 | ... | 7.79 | 7.48 | ... | 1075 |
| ... | ... | 10.90 | 11.85 | ... | 9.50 | ... | 7.82 | 7.51 | ... | 1100 |
| ... | ... | 10.93 | 11.91 | ... | 9.52 | ... | 7.85 | 7.53 | ... | 1125 |
| ... | ... | 10.95 | 11.97 | ... | 9.55 | ... | 7.88 | 7.55 | ... | 1150 |
| ... | ... | 10.98 | 12.03 | ... | 9.57 | ... | 7.90 | 7.58 | ... | 1175 |
| ... | ... | 11.00 | 12.09 | ... | 9.60 | ... | 7.93 | 7.60 | ... | 1200 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.64 | ... | ... | ... | ... | 1225 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.68 | ... | ... | ... | ... | 1250 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.71 | ... | ... | ... | ... | 1275 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.75 | ... | ... | ... | ... | 1300 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.79 | ... | ... | ... | ... | 1325 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.83 | ... | ... | ... | ... | 1350 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.86 | ... | ... | ... | ... | 1375 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.90 | ... | ... | ... | ... | 1400 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.94 | ... | ... | ... | ... | 1425 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 9.98 | ... | ... | ... | ... | 1450 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 10.01 | ... | ... | ... | ... | 1475 |
| ... | ... | ... | ... | ... | 10.05 | ... | ... | ... | ... | 1500 |

Table C-5 Thermal Expansion Coefficients, Nonmetals

| Material Description | Mean Coefficients (Divide Table Values by 10 ⁶) | | | |
|-------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| | in./in., °F | Range, °F | mm/mm, °C | Range, °C |
| Thermoplastics | | | | |
| Acetal AP2012 | 2 | ... | 3.6 | ... |
| Acrylonitrile-butadiene-styrene | | | | |
| ABS 1208 | 60 | ... | 108 | ... |
| ABS 1210 | 55 | 45–55 | 99 | 7–13 |
| ABS 1316 | 40 | ... | 72 | ... |
| ABS 2112 | 40 | ... | 72 | ... |
| Cellulose acetate butyrate | | | | |
| CAB MH08 | 80 | ... | 144 | ... |
| CAB S004 | 95 | ... | 171 | ... |
| Chlorinated poly(vinyl chloride) | | | | |
| CPVC 4120 | 35 | ... | 63 | ... |
| Polybutylene PB 2110 | 72 | ... | 130 | ... |
| Polyether, chlorinated | 45 | ... | 81 | ... |
| Polyethylene | | | | |
| PE 1404 | 100 | 46–100 | 180 | 8–38 |
| PE 2305 | 90 | 46–100 | 162 | 8–38 |
| PE 2306 | 80 | 46–100 | 144 | 8–38 |
| PE 3306 | 70 | 46–100 | 126 | 8–38 |
| PE 3406 | 60 | 46–100 | 108 | 8–38 |
| Polyphenylene POP 2125 | 30 | ... | 54 | ... |
| Polypropylene | | | | |
| PP1110 | 48 | 33–67 | 86 | 1–19 |
| PP1208 | 43 | ... | 77 | ... |
| PP2105 | 40 | ... | 72 | ... |
| Poly(vinyl chloride) | | | | |
| PVC 1120 | 30 | 23–37 | 54 | –5 to +3 |
| PVC 1220 | 35 | 34–40 | 63 | 1–4 |
| PVC 2110 | 50 | ... | 90 | ... |
| PVC 2112 | 45 | ... | 81 | ... |
| PVC 2116 | 40 | 37–45 | 72 | 3–7 |
| PVC 2120 | 30 | ... | 54 | ... |
| Poly(vinylidene fluoride) | 79 | ... | 142 | ... |
| Poly(vinylidene chloride) | 100 | ... | 180 | ... |
| Polytetrafluoroethylene | 55 | 73–140 | 99 | 23–60 |
| Poly(fluorinated ethylenepropylene) | 46–58 | 73–140 | 83–104 | 23–60 |
| Poly(perfluoroalkoxy alkane) | 67 | 70–212 | 121 | 21–100 |
| Poly(perfluoroalkoxy alkane) | 94 | 212–300 | 169 | 100–149 |
| Poly(perfluoroalkoxy alkane) | 111 | 300–408 | 200 | 149–209 |



ANEXO 05

TABLA D-300 FACT. FLEX E INTENSIFICACION

APPENDIX D FLEXIBILITY AND STRESS INTENSIFICATION FACTORS

Table D300¹ Flexibility Factor, *k*, and Stress Intensification Factor, *i*

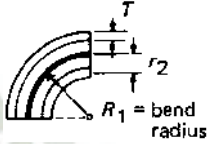
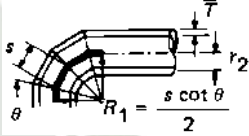
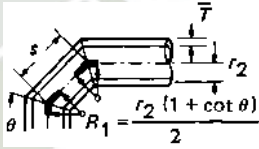
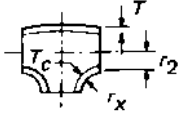
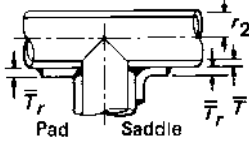
| Description | Flexibility Factor, <i>k</i> | Stress Intensification Factor [Notes (2), (3)] | | Flexibility Characteristic, <i>h</i> | Sketch |
|--|------------------------------|--|---------------------------------|---|---|
| | | Out-of-Plane, <i>i_o</i> | In-Plane, <i>i_i</i> | | |
| Welding elbow or pipe bend [Notes (2), (4)-(7)] | $\frac{1.65}{h}$ | $\frac{0.75}{h^{2/3}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{\bar{T} R_1}{r_2^2}$ |  |
| Closely spaced miter bend $s < r_2 (1 + \tan \theta)$ [Notes (2), (4), (5), (7)] | $\frac{1.52}{h^{5/6}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{\cot \theta \left(\frac{s \bar{T}}{r_2^2} \right)}{2}$ |  |
| Single miter bend or widely spaced miter bend $s \geq r_2 (1 + \tan \theta)$ [Notes (2), (4), (7)] | $\frac{1.52}{h^{5/6}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{1 + \cot \theta \left(\frac{\bar{T}}{r_2} \right)}{2}$ |  |
| Welding tee in accordance with ASME B16.9 [Notes (2), (4), (6), (8), (9)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{3}{4} i_o + \frac{1}{4}$ | $3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$ |  |
| Reinforced fabricated tee with pad or saddle [Notes (2), (4), (9), (10), (11)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{3}{4} i_o + \frac{1}{4}$ | $\frac{(\bar{T} + \frac{1}{2} \bar{T}_r)^{2.5}}{\bar{T}^{1.5} r_2}$ |  |

Table D300¹ Flexibility Factor, *k*, and Stress Intensification Factor, *i* (Cont'd)

(10)

| Description | Flexibility Factor, <i>k</i> | Stress Intensification Factor [Notes (2), (3)] | | Flexibility Characteristic, <i>h</i> | Sketch |
|--|------------------------------|--|--------------------------------|--|--------|
| | | Out-of-Plane, <i>i_o</i> | In-Plane, <i>i_i</i> | | |
| Unreinforced fabricated tee [Notes (2), (4), (9), (11)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$ | $\frac{\bar{T}}{r_2}$ | |
| Extruded welding tee with $r_x \geq 0.05 D_b$ $T_c < 1.5 \bar{T}$ [Notes (2), (4), (9)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$ | $\left(1 + \frac{r_x}{r_2}\right) \frac{\bar{T}}{r_2}$ | |
| Welded-in contour insert [Notes (2), (4), (8), (9)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$ | $3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$ | |
| Branch welded-on fitting (integrally reinforced) [Notes (2), (4), (11), (12)] | 1 | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $\frac{0.9}{h^{2/3}}$ | $3.3 \frac{\bar{T}}{r_2}$ | |

| Description | Flexibility Factor, <i>k</i> | Stress Intensification Factor, <i>i</i> [Note (1)] |
|---|------------------------------|--|
| Butt welded joint, reducer, or weld neck flange | 1 | 1.0 |
| Double-welded slip-on flange | 1 | 1.2 |
| Fillet or socket weld | 1 | 1.3 [Note (13)] |
| Lap joint flange (with ASME B16.9 lap joint stub) | 1 | 1.6 |
| Threaded pipe joint or threaded flange | 1 | 2.3 |
| Corrugated straight pipe, or corrugated or creased bend [Note (14)] | 5 | 2.5 |

Table D300¹ Flexibility Factor, k , and Stress Intensification Factor, i (Cont'd)

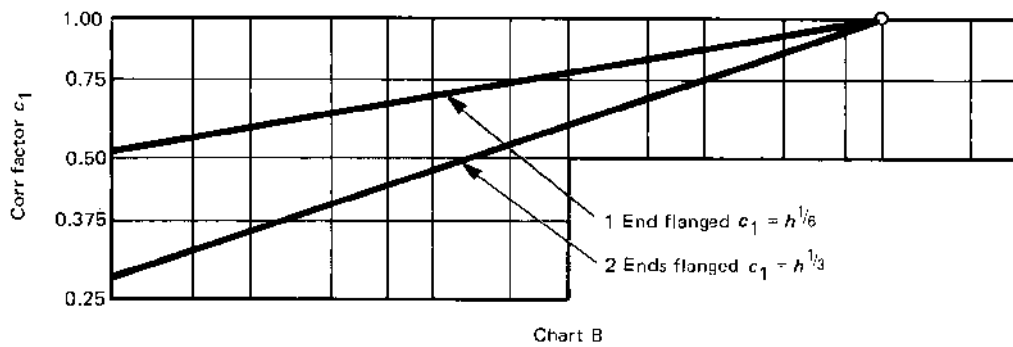
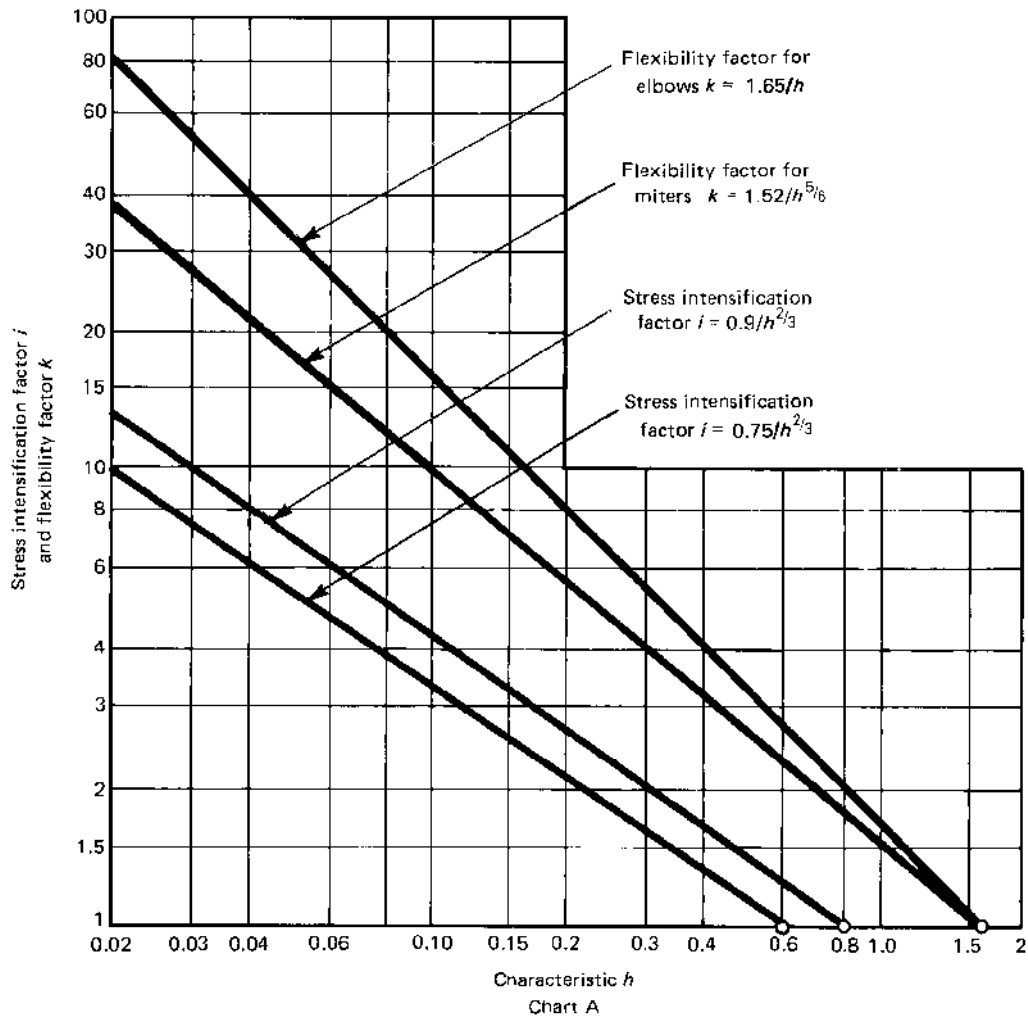


Table D300¹ Flexibility Factor, k , and Stress Intensification Factor, i (Cont'd)

(10)

NOTES:

- (1) Stress intensification and flexibility factor data in Table D300 are for use in the absence of more directly applicable data (see para. 319.3.6). Their validity has been demonstrated for $D/\bar{T} \leq 100$.
- (2) The flexibility factor, k , in the Table applies to bending in any plane. The flexibility factors, k , and stress intensification factors, i , shall not be less than unity; factors for torsion equal unity. Both factors apply over the effective arc length (shown by heavy centerlines in the sketches) for curved and miter bends, and to the intersection point for tees.
- (3) A single intensification factor equal to $0.9/h^{2/3}$ may be used for both i_i and i_o if desired.
- (4) The values of k and i can be read directly from Chart A by entering with the characteristic h computed from the formulas given above. Nomenclature is as follows:

 D_b = outside diameter of branch R_1 = bend radius of welding elbow or pipe bend r_x = see definition in para. 304.3.4(c) r_2 = mean radius of matching pipe s = miter spacing at centerline \bar{T} = for elbows and miter bends, the nominal wall thickness of the fitting

= for tees, the nominal wall thickness of the matching pipe

 \bar{T}_c = crotch thickness of branch connections measured at the center of the crotch where shown in the sketches \bar{T}_r = pad or saddle thickness θ = one-half angle between adjacent miter axes

- (5) Where flanges are attached to one or both ends, the values of k and i in the Table shall be corrected by the factors C_1 , which can be read directly from Chart B, entering with the computed h .
- (6) The designer is cautioned that cast butt-welded fittings may have considerably heavier walls than that of the pipe with which they are used. Large errors may be introduced unless the effect of these greater thicknesses is considered.
- (7) In large diameter thin-wall elbows and bends, pressure can significantly affect the magnitudes of k and i . To correct values from the Table, divide k by

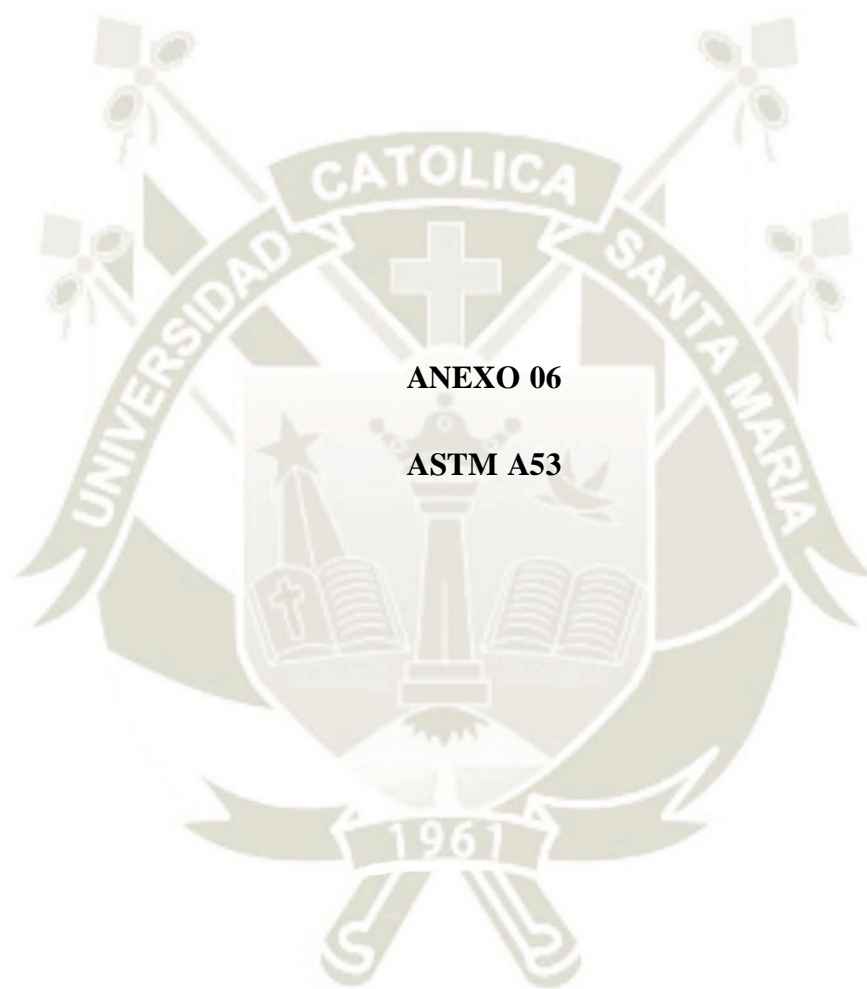
$$1 + 6 \left(\frac{P_i}{E_i} \right) \left(\frac{r_2}{\bar{T}} \right)^{2/3} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{1/3}$$

divide i by

$$1 + 3.25 \left(\frac{P_i}{E_i} \right) \left(\frac{r_2}{\bar{T}} \right)^{5/2} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{2/3}$$

For consistency, use kPa and mm for SI metric, and psi and in. for U.S. customary notation.

- (8) If $r_x \geq \frac{1}{8} D_b$ and $\bar{T}_c \geq 1.5\bar{T}$, a flexibility characteristic of $4.4 \bar{T}/r_2$ may be used.
- (9) Stress intensification factors for branch connections are based on tests with at least two diameters of straight run pipe on each side of the branch centerline. More closely loaded branches may require special consideration.
- (10) When \bar{T}_r is $> 1\frac{1}{2} \bar{T}$, use $h = 4 \bar{T}/r_2$.
- (11) The out-of-plane stress intensification factor (SIF) for a reducing branch connection with branch-to-run diameter ratio of $0.5 < d/D < 1.0$ may be nonconservative. A smooth concave weld contour has been shown to reduce the SIF. Selection of the appropriate SIF is the designer's responsibility.
- (12) The designer must be satisfied that this fabrication has a pressure rating equivalent to straight pipe.
- (13) For welds to socket welded fittings, the stress intensification factor is based on the assumption that the pipe and fitting are matched in accordance with ASME B16.11 and a fillet weld is made between the pipe and fitting as shown in Fig. 328.5.2C. For welds to socket welded flanges, the stress intensification factor is based on the weld geometry shown in Fig. 328.5.2B sketch (3) and has been shown to envelope the results of the pipe to socket welded fitting tests. Blending the toe of the fillet weld smoothly into the pipe wall, as shown in the concave fillet welds in Fig. 328.5.2A, has been shown to improve the fatigue performance of the weld.
- (14) Factors shown apply to bending. Flexibility factor for torsion equals 0.9.



ANEXO 06

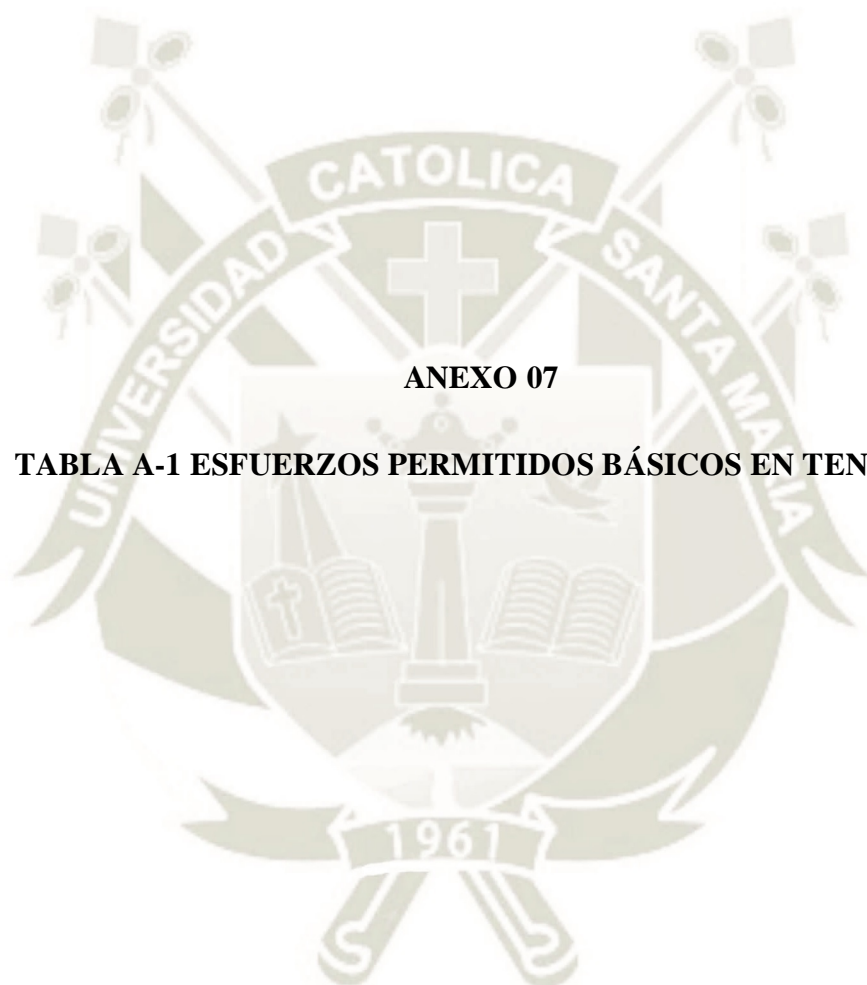
ASTM A53



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106

www.vemacero.com

| Diámetro Nominal NPS | | Diámetro Exterior Real | | Espesor de Pared | | Identificación | | Peso del Tubo | | ASTM A53 PRESION DE PRUEBA | | | |
|-------------------------|-------------------|---------------------------|-------|-------------------|---------------------|-----------------|----------|---------------|-------|----------------------------|--------|---------|--------|
| Pulgadas in. | Milímetros mm. | (in.) | mm. | Pulgadas (in.) | Milímetros (mm.) | Weight Class | Schedule | lb/pie | kg/m | Grado A | | Grado B | |
| | | | | | | | | | | psi | Kg/cm2 | psi | Kg/cm2 |
| 1/2 | 15 | 0.840 | 21.3 | 0.109 | 2.77 | STD | 40 | 0.85 | 1.27 | 700 | 49 | 700 | 49 |
| | | | | 0.147 | 3.73 | XS | 80 | 1.09 | 1.62 | 850 | 60 | 850 | 60 |
| 3/4 | 20 | 1.050 | 26.7 | 0.113 | 2.87 | STD | 40 | 1.13 | 1.69 | 700 | 49 | 700 | 49 |
| | | | | 0.154 | 3.91 | XS | 80 | 1.47 | 2.20 | 850 | 60 | 850 | 60 |
| 1 | 25 | 1.315 | 33.4 | 0.133 | 3.38 | STD | 40 | 1.68 | 2.50 | 700 | 49 | 700 | 49 |
| | | | | 0.179 | 4.55 | XS | 80 | 2.17 | 3.24 | 850 | 60 | 850 | 60 |
| 1-1/4 | 32 | 1.660 | 42.2 | 0.140 | 3.56 | STD | 40 | 2.27 | 3.39 | 1200 | 84 | 1300 | 91 |
| | | | | 0.191 | 4.85 | XS | 80 | 3.00 | 4.47 | 1800 | 127 | 1900 | 134 |
| 1-1/2 | 40 | 1.900 | 48.3 | 0.145 | 3.68 | STD | 40 | 2.72 | 4.05 | 1200 | 84 | 1300 | 91 |
| | | | | 0.200 | 5.08 | XS | 80 | 3.63 | 5.41 | 1800 | 127 | 1900 | 134 |
| 2 | 50 | 2.375 | 60.3 | 0.154 | 3.91 | STD | 40 | 3.65 | 5.44 | 2300 | 162 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.218 | 5.54 | XS | 80 | 5.02 | 7.48 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| 2-1/2 | 65 | 2.875 | 73 | 0.203 | 5.16 | STD | 40 | 5.79 | 8.63 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.276 | 7.01 | XS | 80 | 7.66 | 11.41 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.375 | 9.52 | - | 160 | - | - | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.552 | 14.02 | XXS | - | - | - | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| 3 | 80 | 3.500 | 88,9 | 0.125 | 3.18 | - | - | 4.51 | 6.72 | 1290 | 91 | 1500 | 105 |
| | | | | 0.156 | 3.96 | - | - | 5.57 | 8.29 | 1600 | 112 | 1870 | 131 |
| | | | | 0.188 | 4.78 | - | - | 6.65 | 9.92 | 1930 | 136 | 2260 | 159 |
| | | | | 0.216 | 5.49 | STD | 40 | 7.58 | 11.29 | 2220 | 156 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.250 | 6.35 | - | - | 8.68 | 12.93 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.281 | 7.14 | - | - | 9.66 | 14.40 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| 4 | 100 | 4.500 | 114,3 | 0.300 | 7.62 | XS | 80 | 10.25 | 15.27 | 2500 | 176 | 2500 | 176 |
| | | | | 0.125 | 3.18 | - | - | 5.84 | 8.71 | 1000 | 70 | 1170 | 82 |
| | | | | 0.156 | 3.96 | - | - | 7.24 | 10.78 | 1250 | 88 | 1460 | 103 |
| | | | | 0.188 | 4.78 | - | - | 8.66 | 12.91 | 1500 | 105 | 1750 | 123 |
| | | | | 0.219 | 5.56 | - | - | 10.01 | 14.91 | 1750 | 123 | 2040 | 143 |
| | | | | 0.237 | 6.02 | STD | 40 | 10.79 | 16.07 | 1900 | 134 | 2210 | 155 |
| | | | | 0.250 | 6.35 | - | - | 11.35 | 16.90 | 2000 | 141 | 2330 | 164 |
| | | | | 0.281 | 7.14 | - | - | 12.66 | 18.87 | 2250 | 158 | 2620 | 184 |
| | | | | 0.312 | 7.92 | - | - | 13.98 | 20.78 | 2500 | 176 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.337 | 8.56 | XS | 80 | 14.98 | 22.32 | 2700 | 190 | 2800 | 197 |
| 5 | 125 | 5.563 | 141,3 | 0.438 | 11.13 | - | 120 | 19.00 | 28.32 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.531 | 13.49 | - | 160 | 22.51 | 33.54 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.674 | 17.12 | XXS | - | 27.54 | 41.03 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.188 | 4.78 | - | - | 10.79 | 16.09 | 1220 | 86 | 1420 | 100 |
| | | | | 0.219 | 5.56 | - | - | 12.50 | 18.61 | 1420 | 100 | 1650 | 116 |
| | | | | 0.258 | 6.55 | STD | 40 | 14.62 | 21.77 | 1670 | 117 | 1950 | 137 |
| | | | | 0.281 | 7.14 | - | - | 15.85 | 23.62 | 1820 | 128 | 2120 | 149 |
| 6 | 150 | 6.625 | 168,3 | 0.312 | 7.92 | - | - | 17.50 | 26.05 | 2020 | 142 | 2360 | 166 |
| | | | | 0.344 | 8.74 | - | - | 19.17 | 28.57 | 2230 | 157 | 2600 | 183 |
| | | | | 0.375 | 9.52 | XS | 80 | 20.78 | 30.94 | 2430 | 171 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.188 | 4.78 | - | - | 12.92 | 19.27 | 1020 | 72 | 1190 | 84 |
| | | | | 0.219 | 5.56 | - | - | 14.98 | 22.31 | 1190 | 84 | 1390 | 98 |
| | | | | 0.250 | 6.35 | - | - | 17.02 | 25.36 | 1360 | 96 | 1580 | 111 |
| | | | | 0.280 | 7.11 | STD | 40 | 18.97 | 28.26 | 1520 | 107 | 1780 | 125 |
| | | | | 0.312 | 7.92 | - | - | 21.04 | 31.32 | 1700 | 120 | 1980 | 139 |
| | | | | 0.344 | 8.74 | - | - | 23.08 | 34.39 | 1870 | 131 | 2180 | 153 |
| 6 | 150 | 6.625 | 168,3 | 0.375 | 9.52 | - | - | 25.02 | 37.28 | 2040 | 143 | 2380 | 167 |
| | | | | 0.432 | 10.97 | XS | 80 | 28.57 | 42.56 | 2350 | 165 | 2740 | 193 |
| | | | | 0.562 | 14.27 | - | 120 | 36.39 | 54.20 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.719 | 18.26 | - | 160 | 45.35 | 67.56 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |
| | | | | 0.864 | 21.95 | XXS | - | 53.16 | 79.22 | 2800 | 197 | 2800 | 197 |



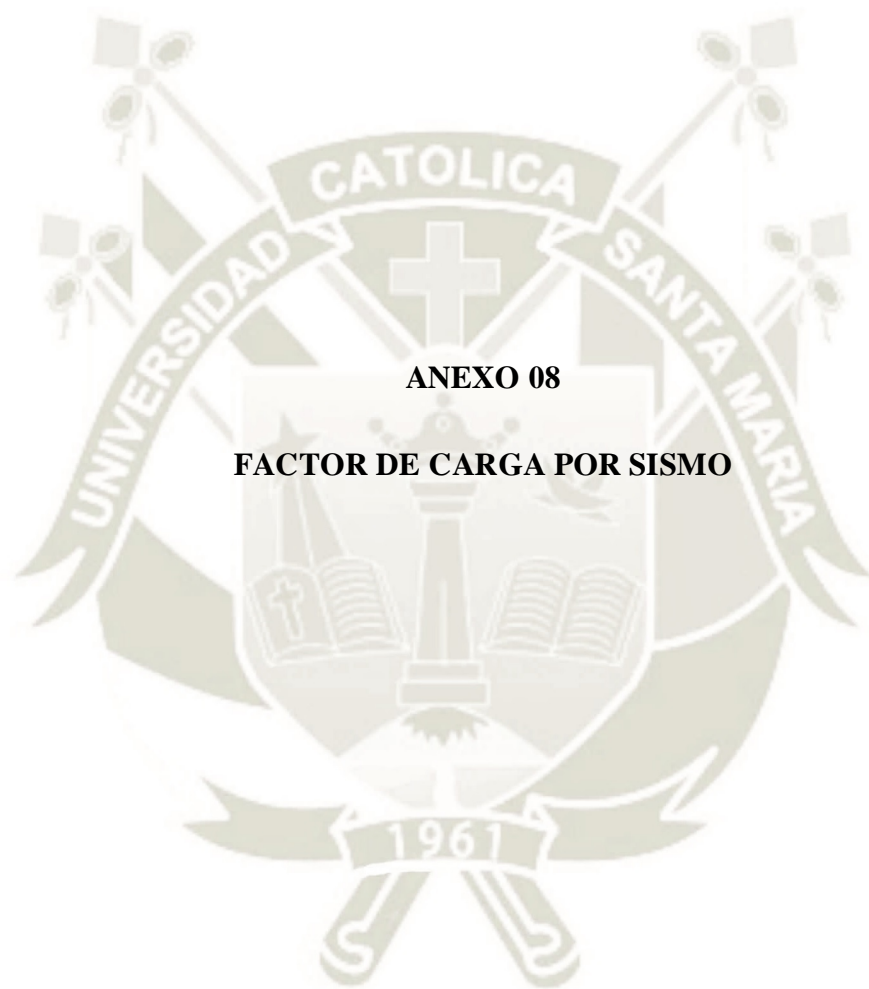
ANEXO 07

TABLA A-1 ESFUERZOS PERMITIDOS BÁSICOS EN TENSIÓN

Tabla A-1 Esfuerzos permitidos básicos en tensión para metales¹ (cont.)

Los números en paréntesis se refieren a las Notas para las Tablas del Apéndice A; las especificaciones son ASTM a menos que se especifique de otra forma.

| Material | N.º de especific. | N.º P o N.º S (5) | Grado | N.º UNS | Notas | Temp. mín., °F (6) | Mín. esfuerzo especificado, ksi | | Temp. mín. a 100 | 200 | 300 |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------|---------|--------------|--------------------|---------------------------------|-------------|------------------|------|------|
| | | | | | | | Tensión | Elasticidad | | | |
| Acero carbón | | | | | | | | | | | |
| Tuberías y tubos (2) | | | | | | | | | | | |
| A 285 Gr. A | A 134 | 1 | ... | ... | (8b)(57) | B | 45 | 24 | 15,0 | 14,7 | 14,2 |
| A 285 Gr. A | A 672 | 1 | A45 | K01700 | (57)(59)(67) | B | 45 | 24 | 15,0 | 14,7 | 14,2 |
| Soldadura a tope Smls y ERW | API 5L | S-1 | A25 | ... | (8a) | -20 | 45 | 25 | 15,0 | 15,0 | 14,7 |
| | API 5L | S-1 | A25 | ... | (57)(59) | B | 45 | 25 | 15,0 | 15,0 | 14,7 |
| ... | A 179 | 1 | ... | K01200 | (57)(59) | -20 | 47 | 26 | 15,7 | 15,7 | 15,3 |
| Tipo F | A 53 | 1 | A | K02504 | (8a)(77) | 20 | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 139 | S-1 | A | ... | (8b)(77) | A | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 587 | 1 | ... | K11500 | (57)(59) | -20 | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 53 | 1 | A | K02504 | (57)(59) | B | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 106 | 1 | A | K02501 | (57) | B | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 135 | 1 | A | ... | (57)(59) | B | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | A 369 | 1 | FPA | K02501 | (57) | B | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| ... | API 5L | S-1 | A | ... | (57)(59)(77) | B | 48 | 30 | 16,0 | 16,0 | 16,0 |
| A 285 Gr. B | A 134 | 1 | ... | ... | (8b)(57) | B | 50 | 27 | 16,7 | 16,5 | 15,9 |
| A 285 Gr. B | A 672 | 1 | A50 | K02200 | (57)(59)(67) | B | 50 | 27 | 16,7 | 16,5 | 15,9 |
| A 285 Gr. C | A 134 | 1 | ... | ... | (8b)(57) | A | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| ... | A 524 | 1 | II | K02104 | (57) | -20 | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| ... | A 333 | 1 | 1 | K03008 | (57)(59) | -50 | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| ... | A 334 | 1 | 1 | K03008 | (57)(59) | -50 | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| A 285 Gr. C | A 671 | 1 | CA55 | K02801 | (59)(67) | A | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| A 285 Gr. C | A 672 | 1 | A55 | K02801 | (57)(59)(67) | A | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| A 516 Gr. 55 | A 672 | 1 | C55 | K01800 | (57)(67) | C | 55 | 30 | 18,3 | 18,3 | 17,7 |
| A 516 Gr. 60 | A 671 | 1 | CC60 | K02100 | (57)(67) | C | 60 | 32 | 20,0 | 19,5 | 18,9 |
| A 515 Gr. 60 | A 671 | 1 | CB60 | K02401 | (57)(67) | B | 60 | 32 | 20,0 | 19,5 | 18,9 |
| A 515 Gr. 60 | A 672 | 1 | B60 | K02401 | (57)(67) | B | 60 | 32 | 20,0 | 19,5 | 18,9 |
| A 516 Gr. 60 | A 672 | 1 | C60 | K02100 | (57)(67) | C | 60 | 32 | 20,0 | 19,5 | 18,9 |
| ... | A 139 | S-1 | B | K03003 | (8b) | A | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 135 | 1 | B | K03018 | (57)(59) | B | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 524 | 1 | I | K02104 | (57) | -20 | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 53 | 1 | B | K03005 | (57)(59) | B | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 106 | 1 | B | K03006 | (57) | B | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 333 | 1 | 6 | K03006 | (57) | -50 | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 334 | 1 | 6 | K03006 | (57) | -50 | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 369 | 1 | FPB | K03006 | (57) | -20 | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | A 381 | S-1 | Y35 | ... | ... | A | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |
| ... | API 5L | S-1 | B | ... | (57)(59)(77) | B | 60 | 35 | 20,0 | 20,0 | 20,0 |



ANEXO 08

FACTOR DE CARGA POR SISMO

CARGA SISMICA

La fuerza sísmica horizontal de diseño se determina según las fórmulas:

$$F_p = \frac{0.4 * a_p * S_{ds} * W_p}{(R_p / I_p)} * (1 + 2 * \frac{z}{h}) \quad (\text{Ec. 3.23})$$

$$F_p \leq 1.6 * S_{ds} * I_p * W_p \quad (\text{Ec. 2.24})$$

$$F_p \geq 0.3 * S_{ds} * I_p * W_p \quad (\text{Ec. 2.25})$$

Dónde:

- S_{ds} : Aceleración Espectral. Sección 11.4.4 de ASCE 7-05
- a_p : Factor de Amplificación de Componente. Tabla 13.5-1 y 13.6-1 de ASCE 7-05
- I_p : Factor de Importancia de Componente, Sección 13.1.3 de ASCE 7-05
- W_p : Peso de Operación de Componente
- R_p : Factor de disipación de Componente, Tabla 13.5-1 y 13.6-1 de ASCE 7-05
- Z : Altura en la estructura del punto de anclaje del componente con respecto a la base. El factor z/h puede tomar valores entre 0 y 1
- H : Altura del techo de la estructura con respecto a la base

El análisis sísmico de las tuberías se basa en el código ASCE 07 como se indican en la especificación de planta de aproximación de esfuerzos de tuberías para análisis sísmico.

Para simular los efectos sísmicos se utilizará factores para la aceleración estática de la gravedad de acuerdo con las condiciones sísmicas calculadas. También se ha considerado 3 casos de condiciones de carga que son U1, U2 y U3.

- +/- U1: Factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje X, igual a 0.394g. (Horizontal)
- +/- U2: el factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje Y, igual a 0.394 g. (Horizontal)
- +/- U3: Factor corresponde a la aceleración estática de la gravedad por un terremoto en la dirección positiva y negativa del eje Z, igual a 0.175g. (Vertical)

Seismic Piping System Categories

| Category | Title |
|----------|---|
| 4.1.2 | Non Critical Non LNG Piping System |
| 4.2.2 | Non Critical Non LNG Piping System in Hazardous Area |
| 4.3.2 | Critical Non LNG Piping System (I.e. Not Category 4.) |
| 4.4.3 | Critical LNG Piping System |
| 4.6 | Marine Structures (API RP 2A) |

Notes:
Grade Elevation 136100 mm

Nomenclature
Fp - Seismic Design Force
Wp - Weight of Pipe or Conc.Wt.
z - Point of Attachment to Structure
h - Ave Top Height of Structure.

Seismic Design Force Fp
From Eqn 13.3.1

$$F_p = \frac{0.4 a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) - K_1 * W_p \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) g \quad (N)$$

From Eqn 13.3-2

$$Max \quad F_p = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (N)$$

From Eqn 13.3-3

$$Min \quad F_p = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (N)$$

From Chapter 13.3.1

$$Concurrent \quad Vertical \quad F_p = 0.2 S_{DS} W_p \quad (N)$$

| Seismic Piping System Category | OBE or SSE | Pipe Elev (Z+Grade El.) (mm) | Ave Top Elev of Structure (h+Grade El) mm | Spectral Acceleration SDS (g) | Amplification Factor ap | Response Modification Factor Rp | Importance Factor Ip | Fp (g) Calculated Eqn 13.3.1 | Max Fp (g) Eqn 13.3-2 | Min Fp (g) Eqn 13.3-3 | Accel Inputs for Caesar Calculation (g) | |
|--------------------------------|------------|------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|---|------------|
| | | | | | | | | | | | Vertical | Horizontal |
| 4.1.2 | OBE | 156000 | 156000 | 0.875 | 2.5 | 10.0 | 1.0 | 0.263 | 1.400 | 0.263 | -0.175 | 0.263 |
| 4.1.2 | SSE | 156000 | 156000 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| 4.2.2 | OBE | 156000 | 156000 | 0.875 | 2.5 | 10.0 | 1.0 | 0.263 | 1.400 | 0.263 | -0.175 | 0.263 |
| 4.2.2 | SSE | 156000 | 156000 | 1.600 | 2.5 | 12.0 | 1.0 | 0.400 | 2.560 | 0.480 | -0.320 | 0.480 |
| 4.3.2 | OBE | 156000 | 156000 | 0.875 | 2.5 | 10.0 | 1.5 | 0.394 | 2.100 | 0.394 | -0.175 | 0.394 |
| 4.3.2 | SSE | 156000 | 156000 | 1.600 | 2.5 | 12.0 | 1.0 | 0.400 | 2.560 | 0.480 | -0.320 | 0.480 |
| 4.4.3 | OBE | 156000 | 156000 | 1.400 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.680 | 2.240 | 0.420 | -0.280 | 1.680 |
| 4.4.3 | SSE | 156000 | 156000 | 1.600 | 2.5 | 12.0 | 1.0 | 0.400 | 2.560 | 0.480 | -0.320 | 0.480 |
| 4.6 | OBE | 156000 | 156000 | 0.875 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.050 | 1.400 | 0.263 | -0.175 | 1.050 |
| 4.6 | SSE | 156000 | 156000 | 1.600 | 2.5 | 12.0 | 1.0 | 0.400 | 2.560 | 0.480 | -0.320 | 0.480 |



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 15:46

Job Name: LINEA GNL INICIAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

CODE COMPLIANCE EXTENDED REPORT: Code Stresses on Elements

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

CASE 3 (Alt-SUS) W+P1

CASE 4 (SUS) W+P1

CASE 19 (OCC) L19=L4+L12

CASE 20 (OCC) L20=L4+L13

CASE 21 (OCC) L21=L4+L14

CASE 22 (OCC) L22=L4+L15

CASE 23 (OCC) L23=L4+L16

CASE 24 (OCC) L24=L4+L17

CASE 25 (OCC) L25=L4+L18

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2016, Jan 31, 2017

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION FAILED ***

Highest Stresses: (KPa)

Ratio (%): 200.3 @Node 868 LOADCASE: 26 (EXP) L26=L2-L4

Code Stress: 561824.4 Allowable Stress: 280529.3

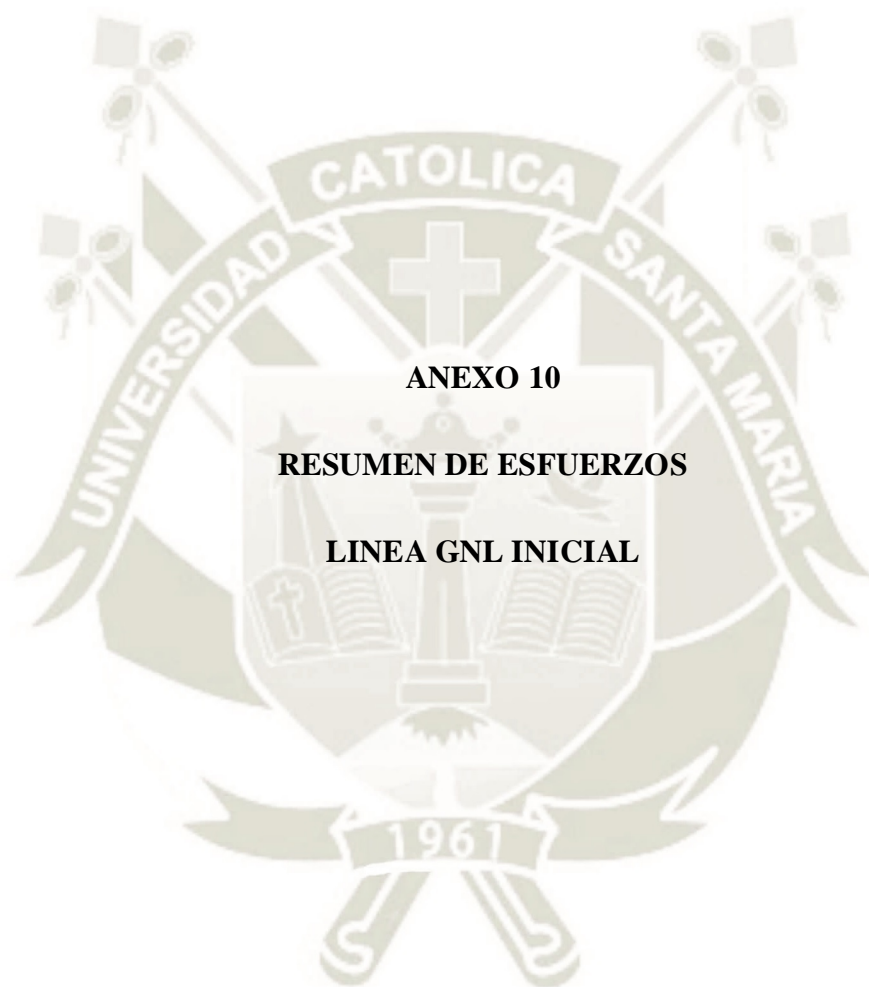
Axial Stress: 30175.4 @Node 860 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP

Bending Stress: 544095.5 @Node 868 LOADCASE: 26 (EXP) L26=L2-L4

Torsion Stress: 39753.1 @Node 1219 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1

Hoop Stress: 59086.2 @Node 1510 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP

Max Stress Intensity: 565898.8 @Node 868 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 15:46

Job Name: LINEA GNL INICIAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

CASE 3 (Alt-SUS) W+P1

CASE 4 (SUS) W+P1

CASE 19 (OCC) L19=L4+L12

CASE 20 (OCC) L20=L4+L13

CASE 21 (OCC) L21=L4+L14

CASE 22 (OCC) L22=L4+L15

CASE 23 (OCC) L23=L4+L16

CASE 24 (OCC) L24=L4+L17

CASE 25 (OCC) L25=L4+L18

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2016, Jan 31, 2017

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

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 1 (HYD) WW+HP

Ratio (%): 46.1 @Node 6250

Code Stress: 79475.4 Allowable Stress: 172368.9

Axial Stress: 30175.4 @Node 860

Bending Stress: 50448.1 @Node 6250

Torsion Stress: 972.0 @Node 2069

Hoop Stress: 59086.2 @Node 1510

Max Stress Intensity: 79843.9 @Node 6250

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

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1

Ratio (%): 0.0 @Node 868

OPE Stress: 565898.8 Allowable Stress: 0.0

Axial Stress: 24777.1 @Node 860

Bending Stress: 542237.1 @Node 868

Torsion Stress: 39753.1 @Node 1219

Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510

Max Stress Intensity: 565898.8 @Node 868

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 3 (Alt-SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 3 (Alt-SUS) W+P1

Ratio (%): 69.8 @Node 1098
 Code Stress: 80392.0 Allowable Stress: 115142.4
 Axial Stress: 10170.2 @Node 1028
 Bending Stress: 98962.8 @Node 1098
 Torsion Stress: 2177.6 @Node 1520
 Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
 Max Stress Intensity: 105233.1 @Node 1098

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 4 (SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 4 (SUS) W+P1
 Ratio (%): 39.0 @Node 6250
 Code Stress: 44943.5 Allowable Stress: 115142.4
 Axial Stress: 7048.3 @Node 860
 Bending Stress: 38723.3 @Node 6250
 Torsion Stress: 838.2 @Node 2069
 Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
 Max Stress Intensity: 44943.5 @Node 6250

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 19 (OCC) L19=L4+L12

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 19 (OCC) L19=L4+L12
 Ratio (%): 89.5 @Node 70
 Code Stress: 137113.9 Allowable Stress: 153139.4
 Axial Stress: 10277.6 @Node 60
 Bending Stress: 146097.3 @Node 288
 Torsion Stress: 13301.4 @Node 40
 Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
 Max Stress Intensity: 156185.8 @Node 60

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 20 (OCC) L20=L4+L13

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 20 (OCC) L20=L4+L13
 Ratio (%): 91.0 @Node 70
 Code Stress: 139367.7 Allowable Stress: 153139.4
 Axial Stress: 10500.7 @Node 70
 Bending Stress: 145126.9 @Node 60
 Torsion Stress: 13451.0 @Node 40
 Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
 Max Stress Intensity: 160545.9 @Node 60

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 21 (OCC) L21=L4+L14

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 21 (OCC) L21=L4+L14
 Ratio (%): 80.9 @Node 1230
 Code Stress: 123883.2 Allowable Stress: 153139.4
 Axial Stress: 9645.0 @Node 750
 Bending Stress: 154218.2 @Node 1230
 Torsion Stress: 19140.8 @Node 1219
 Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510

Max Stress Intensity: 168581.1 @Node 1230

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 22 (OCC) L22=L4+L15

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 22 (OCC) L22=L4+L15
Ratio (%): 75.1 @Node 1028
Code Stress: 114984.8 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 10283.5 @Node 1028
Bending Stress: 139601.6 @Node 1028
Torsion Stress: 7613.5 @Node 1219
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 150117.3 @Node 1028

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 23 (OCC) L23=L4+L16

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 23 (OCC) L23=L4+L16
Ratio (%): 33.8 @Node 6250
Code Stress: 51807.3 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 8414.7 @Node 1028
Bending Stress: 45499.9 @Node 6250
Torsion Stress: 1351.8 @Node 289
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 51807.3 @Node 6250

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 24 (OCC) L24=L4+L17

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 24 (OCC) L24=L4+L17
Ratio (%): 33.8 @Node 6250
Code Stress: 51807.3 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 7761.8 @Node 1100
Bending Stress: 45499.9 @Node 6250
Torsion Stress: 3176.0 @Node 1219
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 51807.3 @Node 6250

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 25 (OCC) L25=L4+L18

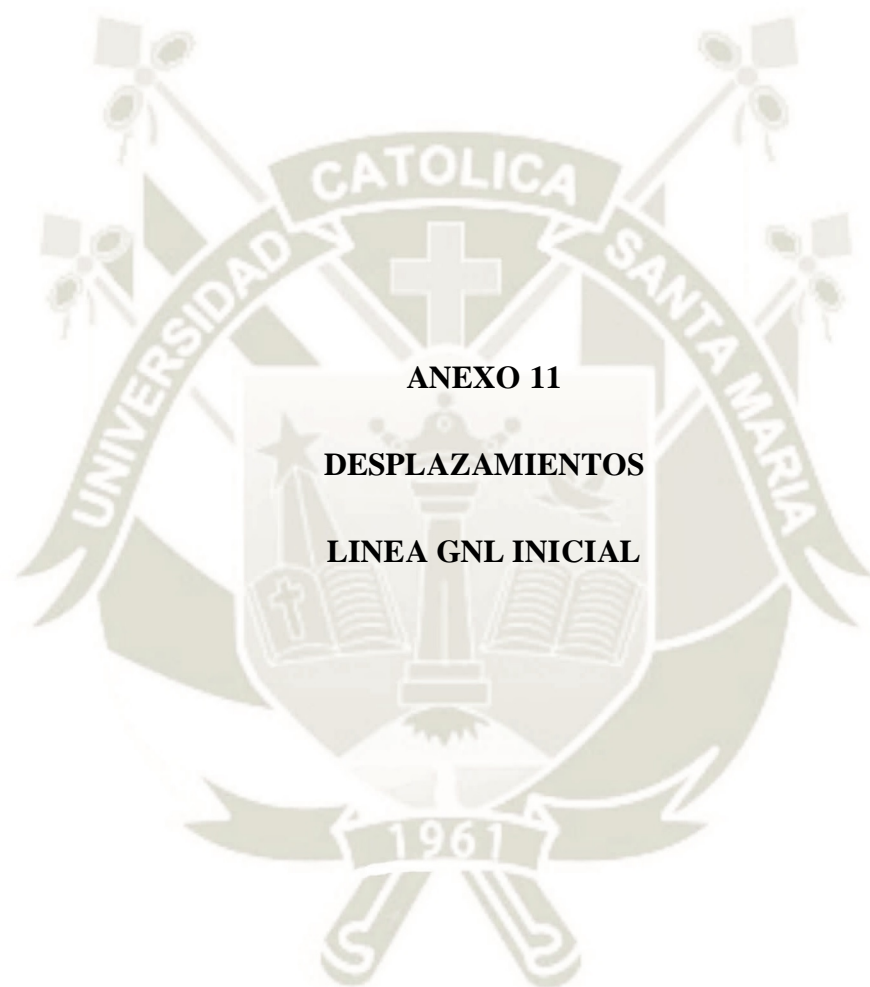
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 25 (OCC) L25=L4+L18
Ratio (%): 43.7 @Node 6250
Code Stress: 66928.7 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 7893.1 @Node 1028
Bending Stress: 71454.4 @Node 300
Torsion Stress: 4969.1 @Node 354
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 78106.3 @Node 300

CODE STRESS CHECK FAILED : LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4
Ratio (%): 200.3 @Node 868

Code Stress: 561824.4 Allowable Stress: 280529.3
Axial Stress: 17728.8 @Node 860
Bending Stress: 544095.5 @Node 868
Torsion Stress: 39429.0 @Node 1219
Hoop Stress: 0.0 @Node 2068
Max Stress Intensity: 561824.4 @Node 868





CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 15:46

Job Name: LINEA GNL INICIAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

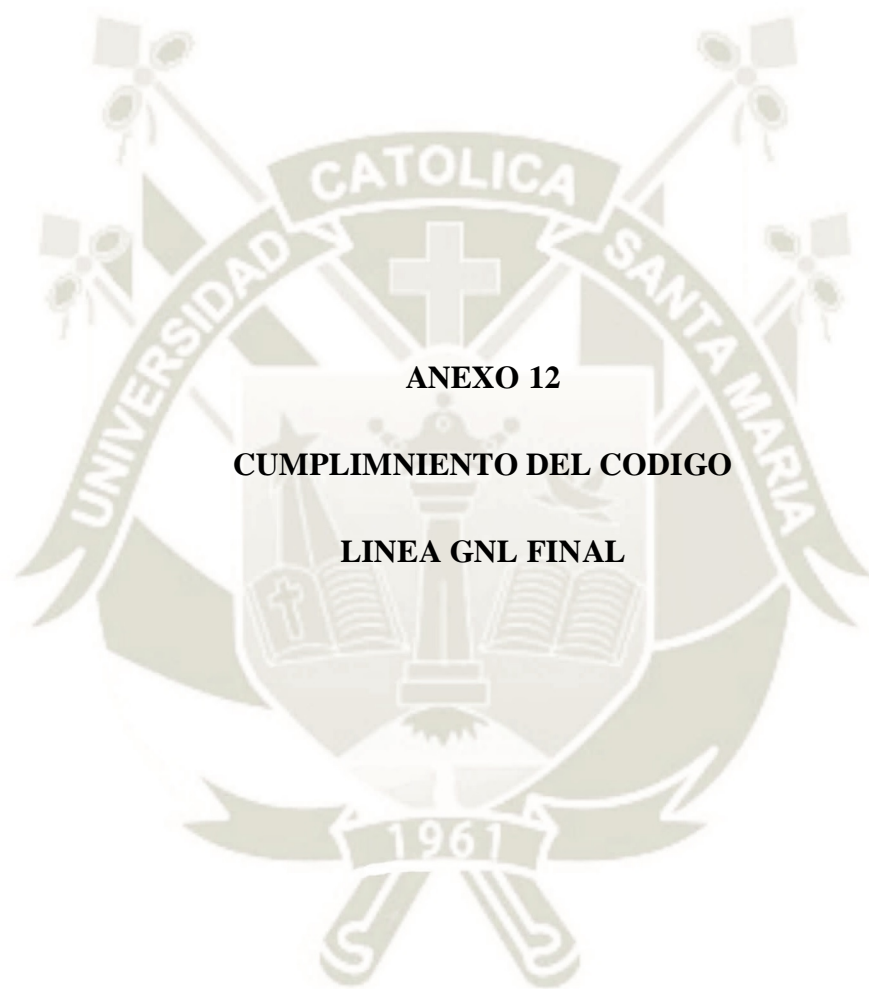
| Node | DX mm. | DY mm. | DZ mm. | RX deg. | RY deg. | RZ deg. |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 10 | 7.356 | 33.388 | 1.67 | -0.2437 | 0.106 | -0.8139 |
| 20 | 7.455 | 33.957 | 1.744 | -0.2437 | 0.106 | -0.814 |
| 25 | 10.455 | 51.26 | 4.295 | -0.2333 | 0.1343 | -0.8063 |
| 28 | 13.607 | 68.135 | 7.547 | -0.2223 | 0.1575 | -0.6946 |
| 29 | 14.559 | 69.483 | 7.793 | -0.2072 | 0.1943 | -0.3464 |
| 30 | 15.11 | 69.334 | 7.481 | -0.1838 | 0.2083 | 0.0692 |
| 35 | 0 | 63.606 | 0 | -0.18 | 0.2416 | 0.6543 |
| 38 | -23.935 | 59.476 | -4.936 | -0.1433 | 0.2509 | 0.9547 |
| 39 | -28.86 | 58.903 | -4.944 | 0.0336 | 0.3938 | 1.3657 |
| 40 | -32.876 | 59.149 | -4.268 | 0.1982 | 0.5072 | 1.4748 |
| 48 | -40.863 | 62.545 | -1.99 | 0.2138 | 0.4733 | 1.6156 |
| 49 | -43.997 | 61.196 | -0.906 | 0.0656 | 0.3291 | 1.6816 |
| 50 | -48.96 | 55.923 | -0.099 | -0.1645 | 0.2287 | 2.0073 |
| 55 | -52.198 | 52.198 | 0 | -0.165 | 0.2176 | 2.0236 |
| 58 | -60.425 | 42.753 | 0.164 | -0.164 | 0.1922 | 2.0329 |
| 59 | -61.967 | 40.065 | 0.201 | -0.2105 | 0.1148 | 1.8701 |
| 60 | -62.305 | 37.308 | 0.233 | -0.2285 | 0.0165 | 1.6314 |
| 70 | -58.639 | 0 | 0 | -0.2244 | -0.0162 | 1.0636 |
| 80 | -44.069 | 0 | 0 | -0.2079 | 0.0043 | -0.2825 |
| 90 | -29.51 | 0 | 0 | -0.1914 | -0.0011 | 0.0751 |
| 100 | -14.96 | 0 | 0 | -0.175 | 0.0003 | -0.0199 |
| 110 | -0.419 | 0 | 0 | -0.1585 | -0.0001 | 0.0053 |
| 155 | 14.114 | 0 | 0 | -0.1421 | 0 | -0.0014 |
| 160 | 28.655 | 0 | 0 | -0.1256 | 0 | 0.0004 |
| 165 | 43.206 | 0 | 0 | -0.1092 | 0 | 0 |
| 170 | 57.765 | 0 | 0 | -0.0927 | 0.0001 | -0.0003 |
| 175 | 72.334 | 0 | 0 | -0.0763 | -0.0003 | 0.001 |
| 180 | 86.913 | 0 | 0 | -0.0598 | 0.001 | -0.0039 |
| 185 | 101.5 | 0 | 0 | -0.0434 | -0.0036 | 0.0148 |
| 190 | 116.097 | 0 | 0 | -0.0269 | 0.0135 | -0.0557 |
| 198 | 120.759 | 4.691 | 0.629 | -0.0217 | 0.0216 | -0.2873 |
| 199 | 120.005 | 7.426 | 0.743 | -0.0197 | 0.02 | -1.0857 |
| 200 | 114.757 | 10.03 | 0.829 | -0.0102 | 0.0167 | -1.724 |
| 203 | 89.123 | 12.098 | 0.955 | -0.0062 | 0.0162 | -1.7083 |
| 204 | 84.188 | 14.53 | 0.955 | 0.0159 | 0.0079 | -0.9272 |
| 205 | 83.756 | 16.387 | 0.928 | 0.024 | -0.0041 | 0.0139 |
| 220 | 92.507 | 0 | 0 | 0.0588 | -0.0337 | 0.3029 |
| 230 | 107.131 | -10.172 | -5.002 | 0.1169 | -0.0307 | -0.0539 |
| 240 | 121.754 | 0 | 0 | 0.175 | 0.1573 | -0.0857 |
| 250 | 136.38 | 0 | 0 | 0.2331 | -0.4594 | 0.1063 |
| 258 | 139.603 | -2.974 | -14.463 | 0.2459 | -0.7983 | 0.145 |
| 259 | 137.875 | -4.026 | -19.438 | 0.2673 | -1.7618 | 0.198 |
| 260 | 129.795 | -5.412 | -23.174 | 0.2911 | -2.5514 | 0.2135 |

| | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 268 | 66.999 | -12.363 | -26.608 | 0.2743 | -2.5129 | 0.2323 |
| 269 | 59.439 | -13.587 | -30.067 | 0.1972 | -1.5125 | 0.2096 |
| 270 | 58.212 | -14.624 | -33.685 | 0.1762 | -0.338 | 0.1958 |
| 280 | 64.546 | -22.788 | -30.725 | 0.0702 | 0.4609 | 0.1415 |
| 288 | 68.308 | -25.443 | -12.189 | 0.0072 | 0.9143 | 0.0469 |
| 289 | 66.294 | -25.121 | -6.594 | 0.0664 | 1.9787 | -0.1677 |
| 290 | 57.213 | -24.509 | -2.47 | 0.0695 | 2.8611 | -0.2131 |
| 298 | 18.702 | -23.703 | -0.601 | 0.0557 | 2.928 | -0.2936 |
| 299 | 7.347 | -23.339 | -0.119 | 0.0235 | 2.8425 | -0.2884 |
| 300 | 1.898 | -22.781 | 0.051 | 0.0074 | 2.7906 | -0.255 |
| 310 | 0 | -21.722 | 0 | 0.0067 | 2.7295 | -0.2255 |
| 315 | -3.923 | -16.79 | -0.209 | 0.0044 | 2.4449 | -0.0196 |
| 320 | -2.617 | -11.857 | -0.26 | -0.0023 | 2.1603 | 0.0741 |
| 325 | 0 | -6.925 | 0 | -0.0134 | 1.8757 | 0.0555 |
| 330 | 0 | 7.855 | 0 | 0.0474 | 1.0218 | 0.0018 |
| 340 | 0 | 22.648 | 0 | -0.1775 | 0.168 | -0.0627 |
| 348 | -0.91 | 24.363 | 2.51 | -0.2192 | 0.0691 | -0.0821 |
| 349 | -1.433 | 25.272 | 3.191 | -0.2395 | -0.0441 | -0.2382 |
| 350 | -2.676 | 26.328 | 3.019 | -0.2031 | -0.3754 | -0.3592 |
| 353 | -10.324 | 29.997 | 0.462 | -0.2077 | -0.458 | -0.364 |
| 354 | -13.032 | 31.129 | 0.332 | -0.2776 | -0.6382 | -0.4265 |
| 355 | -15.798 | 32.115 | 1.222 | -0.2907 | -0.683 | -0.4698 |
| 358 | -19.525 | 33.241 | 3.517 | -0.2739 | -0.7116 | -0.4624 |
| 359 | -22.281 | 33.912 | 3.845 | 0.0201 | -0.7222 | -0.4237 |
| 360 | -25.82 | 33.368 | 3.102 | 0.3709 | -0.8139 | -0.4384 |
| 368 | -84.686 | -3.311 | -7.542 | 0.5112 | -0.625 | -0.2358 |
| 369 | -85.967 | -4.732 | -8.553 | 0.4529 | -0.1488 | -0.2382 |
| 370 | -85.427 | -4.629 | -8.45 | 0.4552 | 0.2764 | -0.1801 |
| 380 | -81.555 | 0 | 0 | 0.3817 | 0.2835 | -0.1708 |
| 388 | -79.685 | 2.317 | 3.323 | 0.346 | 0.2188 | -0.1722 |
| 389 | -79.117 | 2.397 | 3.398 | 0.3329 | -0.065 | -0.1597 |
| 390 | -79.577 | 1.52 | 2.642 | 0.2661 | -0.2594 | -0.1728 |
| 398 | -80.8 | 0.318 | 1.992 | 0.2608 | -0.2641 | -0.1648 |
| 399 | -81.523 | -0.365 | 1.087 | 0.2526 | -0.2073 | -0.1519 |
| 400 | -81.25 | -0.355 | 0.353 | 0.2802 | -0.0611 | -0.0595 |
| 405 | -80.308 | 0 | 0 | 0.2782 | -0.0433 | -0.0435 |
| 425 | -72.942 | 0 | 0 | 0.2629 | 0.0114 | 0.0115 |
| 430 | -65.578 | 0 | 0 | 0.2477 | -0.0038 | -0.0038 |
| 435 | -50.856 | 0 | 0 | 0.2171 | 0.0009 | 0.0009 |
| 440 | -38.595 | 0 | 0 | 0.1916 | -0.0002 | -0.0002 |
| 450 | -26.34 | 0 | 0 | 0.1661 | -0.0002 | 0.0001 |
| 460 | -11.643 | 0 | 0 | 0.1355 | 0.0012 | 0 |
| 470 | 3.047 | 0 | 0 | 0.1049 | -0.0048 | 0 |
| 480 | 17.746 | 0 | 0 | 0.0743 | 0.018 | -0.0001 |
| 490 | 32.455 | 0 | 0 | 0.0437 | -0.0678 | 0.0003 |
| 500 | 36.138 | -0.009 | -1.765 | 0.036 | -0.0296 | 0.0001 |
| 505 | 39.822 | 0 | 0 | 0.0284 | 0.2018 | -0.001 |
| 510 | 43.05 | -0.014 | 7.114 | 0.006 | -0.5768 | -0.0088 |
| 608 | 43.518 | 0.04 | 7.761 | 0.0207 | 0.3033 | -0.0017 |
| 609 | 44.137 | 0.02 | 8.04 | 0.0174 | -0.0943 | -0.005 |

| | | | | | | |
|-----|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 618 | -1.456 | -0.089 | -2.269 | -0.0016 | -0.5974 | -0.0063 |
| 619 | -2.693 | -0.072 | -3.269 | -0.0015 | -0.1559 | -0.0059 |
| 620 | -2.192 | -0.052 | -3.302 | -0.0008 | 0.2008 | -0.0038 |
| 628 | -4.409 | 4.474 | 10.792 | -0.2664 | 0.3491 | -0.1471 |
| 629 | -3.67 | 4.768 | 11.52 | -0.2947 | 0.2712 | -0.1249 |
| 630 | -3.026 | 4.418 | 10.728 | -0.3329 | 0.2437 | -0.1015 |
| 640 | 0 | -0.003 | 0 | -0.3618 | 0.1811 | -0.093 |
| 648 | 1.414 | -2.203 | -5.794 | -0.3811 | 0.1499 | -0.088 |
| 649 | 1.51 | -3.383 | -7.103 | -0.4314 | 0.1341 | -0.0913 |
| 650 | 1.289 | -5.304 | -7.264 | -0.4678 | 0.0615 | -0.1119 |
| 658 | -0.33 | -42.924 | 4.35 | -0.4187 | -0.0033 | -0.0548 |
| 659 | -0.24 | -44.518 | 4.347 | -0.3026 | 0.0026 | -0.0471 |
| 660 | -0.13 | -45.455 | 3.681 | -0.1727 | 0.0133 | -0.0149 |
| 670 | 0 | -49.162 | 0 | -0.102 | 0.0123 | 0.0071 |
| 680 | 0 | -63.993 | 0 | 0.0286 | 0.0085 | -0.0705 |
| 690 | 0 | -78.837 | 0 | -0.0132 | 0.0047 | 0.277 |
| 698 | -4.092 | -80.67 | -0.167 | -0.0127 | 0.0043 | 0.3084 |
| 699 | -4.391 | -81.289 | -0.205 | -0.011 | 0.0046 | -0.1222 |
| 700 | -3.356 | -79.81 | -0.205 | -0.0108 | 0.0039 | -0.7791 |
| 710 | 1.996 | -40.523 | -0.074 | -0.0088 | 0.003 | -1.3162 |
| 730 | 3.19 | -28.631 | -0.048 | -0.0083 | 0.0029 | -1.4701 |
| 740 | 5.628 | 0 | 0 | -0.0074 | 0.0027 | -1.8225 |
| 748 | 9.67 | 57.032 | 0.073 | -0.0058 | 0.0024 | -1.9222 |
| 749 | 12.08 | 62.164 | 0.074 | -0.0052 | 0.003 | -0.8097 |
| 750 | 12.987 | 62.27 | 0.064 | -0.0029 | 0.0038 | 0.3494 |
| 760 | 0 | 58.258 | 0 | -0.0015 | 0.0037 | 0.3944 |
| 770 | 0 | 43.678 | 0 | 0.0004 | 0.0033 | -0.1048 |
| 780 | 0 | 29.108 | 0 | -0.0001 | 0.003 | 0.0278 |
| 790 | 0 | 14.548 | 0 | 0 | 0.0026 | -0.0074 |
| 800 | 0 | -0.003 | 0 | 0.0002 | 0.0022 | 0.002 |
| 810 | 0 | -14.561 | 0 | -0.0007 | 0.0018 | -0.0005 |
| 820 | 0 | -29.127 | 0 | 0.0026 | 0.0014 | 0.0001 |
| 830 | 0 | -43.703 | 0 | -0.0097 | 0.0011 | 0 |
| 840 | 0 | -58.29 | 0 | 0.0365 | 0.0007 | 0 |
| 850 | 0 | -72.882 | 0 | -0.1374 | 0.0003 | 0 |
| 858 | 0 | -73.19 | -0.365 | -0.1403 | 0.0003 | 0 |
| 859 | 0 | -73.539 | -0.094 | 0.364 | 0.0002 | 0 |
| 860 | -0.001 | -70.508 | 1.466 | 1.358 | 0.0001 | -0.0001 |
| 868 | -0.001 | 110.993 | 17.265 | 1.0533 | -0.0001 | -0.0001 |
| 869 | -0.001 | 112.257 | 17.99 | -0.2902 | 0 | 0 |
| 870 | 0 | 110.703 | 15.107 | -1.144 | 0 | 0 |
| 880 | 0 | 108.821 | 0 | -0.9771 | 0 | 0 |
| 890 | 0 | 94.228 | 0 | 0.2596 | 0 | 0 |
| 900 | 0 | 79.669 | 0 | -0.0689 | 0 | 0 |
| 910 | 0 | 65.112 | 0 | 0.0183 | 0 | 0 |
| 920 | 0 | 50.565 | 0 | -0.0049 | 0 | 0 |
| 930 | 0 | 36.027 | 0 | 0.0013 | 0 | 0 |
| 940 | 0 | 21.499 | 0 | -0.0004 | 0.0001 | 0 |
| 950 | 0 | 6.98 | 0 | 0.0003 | 0.0001 | 0 |
| 960 | 0 | -7.531 | 0 | -0.0009 | 0.0001 | 0 |

| | | | | | | |
|------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 970 | 0 | -22.052 | 0 | 0.0033 | 0.0001 | 0 |
| 980 | 0 | -36.583 | 0 | -0.0125 | 0.0001 | 0 |
| 985 | 0 | -51.124 | 0 | 0.047 | 0.0001 | 0 |
| 1000 | 0 | -65.67 | 0 | -0.1769 | 0.0002 | 0 |
| 1015 | 0 | -76.423 | 0 | 0.5896 | 0.0002 | 0 |
| 1018 | 0 | -77.704 | 6.294 | 0.7073 | 0.0002 | -0.0001 |
| 1019 | 0.001 | -79.097 | 8.428 | 0.3632 | 0.0002 | -0.0001 |
| 1020 | 0.002 | -79.145 | 8.093 | -0.4591 | 0.0002 | -0.0001 |
| 1028 | 0.004 | 2.795 | -7.736 | -0.4207 | -0.0003 | -0.0003 |
| 1029 | 0.002 | 2.525 | -7.967 | 0.4456 | -0.0008 | -0.0001 |
| 1030 | 0 | 0.979 | -5.435 | 0.8338 | -0.001 | 0 |
| 1040 | 0 | 0.068 | 0 | 0.778 | -0.0011 | 0 |
| 1050 | -0.002 | -7.249 | 20.558 | 0.0895 | -0.0017 | 0 |
| 1060 | 0 | -14.566 | 17.484 | -0.1246 | -0.0024 | -0.0001 |
| 1070 | 0.005 | -21.882 | 11.549 | -0.1024 | -0.003 | -0.0001 |
| 1080 | 0 | -29.199 | 6.729 | -0.082 | -0.0036 | 0.0003 |
| 1090 | 0 | -36.516 | 0 | -0.2348 | -0.0043 | -0.0009 |
| 1098 | 0.002 | -36.824 | -0.568 | -0.2431 | -0.0043 | -0.001 |
| 1099 | 0.019 | -37.632 | -1.169 | -0.0571 | -0.0053 | -0.0036 |
| 1100 | 0.047 | -37.032 | -0.482 | 0.5007 | -0.0061 | -0.0043 |
| 1108 | 0.095 | 33.128 | 15.473 | 0.2782 | 0.0107 | -0.0096 |
| 1109 | 0.035 | 32.438 | 15.552 | -0.5347 | 0.0262 | -0.0045 |
| 1110 | -0.004 | 30.75 | 12.647 | -0.9759 | 0.0305 | -0.0002 |
| 1120 | 0 | 28.865 | 0 | -0.8132 | 0.0357 | -0.0003 |
| 1130 | 0 | 14.205 | 0 | 0.216 | 0.0762 | 0.0001 |
| 1140 | 0 | -0.423 | 0 | -0.0574 | 0.1167 | 0 |
| 1150 | 0 | -15.055 | 0 | 0.0152 | 0.1572 | 0 |
| 1160 | 0 | -29.698 | 0 | -0.0041 | 0.1978 | 0 |
| 1170 | 0 | -44.349 | 0 | 0.0011 | 0.2383 | 0 |
| 1180 | 0 | -59.01 | 0 | -0.0003 | 0.2788 | -0.0001 |
| 1185 | 0 | -73.681 | 0 | 0.0002 | 0.3193 | 0.0004 |
| 1190 | 0 | -88.36 | 0 | -0.0003 | 0.3598 | -0.0017 |
| 1195 | 0 | -103.049 | 0 | 0.0012 | 0.4003 | 0.0063 |
| 1200 | 0 | -117.747 | 0 | -0.0045 | 0.4409 | -0.0238 |
| 1205 | 0 | -132.455 | 0.644 | 0.0354 | 0.4814 | 0.0894 |
| 1210 | 0 | -141.034 | 0 | -0.1335 | 0.505 | -0.2767 |
| 1213 | 10.463 | -144.359 | -4.956 | -0.2854 | 0.5142 | -0.5935 |
| 1214 | 14.965 | -144.013 | -6.996 | -0.6922 | 0.7416 | -1.241 |
| 1215 | 20.384 | -140.964 | -8.792 | -0.9968 | 0.9517 | -1.4256 |
| 1218 | 34.625 | -125.782 | -10.925 | -0.9874 | 0.9311 | -1.643 |
| 1219 | 38.054 | -119.763 | -10.179 | -0.8794 | 0.7577 | -1.7011 |
| 1220 | 39.666 | -111.317 | -7.936 | -0.9475 | 0.5603 | -2.0719 |
| 1225 | 41.757 | -80.073 | 0 | -0.8017 | 0.5156 | -2.1342 |
| 1228 | 43.849 | -48.766 | 7.31 | -0.6558 | 0.4798 | -2.0837 |
| 1229 | 41.66 | -41.596 | 9.636 | -0.4987 | 0.2381 | -1.5569 |
| 1230 | 37.189 | -38.943 | 10.94 | -0.0618 | 0.0692 | -0.968 |
| 1235 | 16.444 | -35.575 | 10.538 | 0.0868 | 0.0259 | -0.8036 |
| 1238 | -9.216 | -30.478 | 3.224 | 0.388 | -0.0825 | -0.6744 |
| 1239 | -10.955 | -29.243 | 1.636 | 0.8658 | -0.1143 | -0.6382 |
| 1240 | -11.249 | -26.04 | 0.859 | 1.2293 | -0.1925 | -0.6144 |

| | | | | | | |
|------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1243 | -9.369 | -14.213 | 2.2 | 1.2366 | -0.1955 | -0.6267 |
| 1244 | -8.938 | -10.318 | 2.112 | 0.9929 | -0.101 | -0.549 |
| 1245 | -8.834 | -7.865 | 1.588 | 0.8329 | 0.0808 | -0.3787 |
| 1250 | -7.761 | -2.08 | 0 | 0.6124 | 0.1242 | -0.1485 |
| 1255 | -4.885 | -1.309 | 0 | 0.3707 | 0.1102 | 0.0402 |
| 1260 | -0.212 | -0.057 | 0 | 0.001 | 0.0002 | -0.0002 |
| 1270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1505 | 9.912 | 66.122 | 3.363 | -0.1799 | 0.2329 | 0.4382 |
| 1510 | 8.799 | 65.827 | 2.823 | -0.1798 | 0.2365 | 0.4784 |
| 2010 | 7.247 | 32.763 | 1.589 | -0.2438 | 0.1059 | -0.8138 |
| 2020 | 6.379 | 27.835 | 0.97 | -0.2468 | 0.0965 | -0.7961 |
| 2030 | 5.613 | 23.531 | 0.449 | -0.2469 | 0.096 | -0.7948 |
| 2040 | 4.919 | 19.702 | 0 | -0.2493 | 0.0877 | -0.7691 |
| 2050 | 2.812 | 8.996 | -1.149 | -0.2567 | 0.071 | -0.6673 |
| 2060 | 2.046 | 5.392 | -1.532 | -0.2568 | 0.0709 | -0.6647 |
| 2068 | 0.414 | 0.101 | -1.659 | -0.0124 | 0.0529 | -0.1529 |
| 2069 | 0.79 | 0.506 | -1.966 | -0.1391 | 0.0827 | -0.2648 |
| 2070 | 1.286 | 1.962 | -1.91 | -0.2594 | 0.0716 | -0.6158 |
| 2080 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6210 | 0.001 | 0 | 0 | -0.0008 | 0.1856 | -0.0027 |
| 6215 | 7.394 | 0.045 | 3.076 | -0.0008 | -0.0331 | 0.0005 |
| 6220 | 14.786 | 0 | 0 | -0.0008 | -0.0493 | 0.0007 |
| 6225 | 18.483 | -0.012 | -0.789 | -0.0008 | -0.0136 | 0.0002 |
| 6226 | 22.18 | -0.012 | -0.818 | -0.0008 | 0.0088 | -0.0001 |
| 6230 | 29.574 | 0 | 0 | -0.0008 | 0.0132 | -0.0002 |
| 6235 | 36.974 | 0.003 | 0.221 | -0.0008 | -0.0023 | 0 |
| 6240 | 44.374 | 0 | 0 | -0.0008 | -0.0037 | 0.0001 |
| 6242 | 49.309 | -0.001 | -0.072 | -0.0008 | -0.0006 | 0 |
| 6245 | 54.244 | -0.001 | -0.058 | -0.0008 | 0.0012 | 0 |
| 6250 | 59.179 | 0 | 0 | -0.0008 | 0.0018 | 0 |
| 6260 | 71.381 | 0.002 | 0.159 | -0.0008 | 0.0018 | 0 |
| 6285 | -11.239 | -2.808 | -6.822 | -0.2664 | 0.3687 | -0.1518 |
| 6290 | -8.621 | 0 | 0 | -0.2664 | 0.3687 | -0.1518 |



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 18:36

Job Name: LINEA GNL FINAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

CODE COMPLIANCE EXTENDED REPORT: Code Stresses on Elements

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

CASE 3 (Alt-SUS) W+P1

CASE 4 (SUS) W+P1

CASE 19 (OCC) L19=L4+L12

CASE 20 (OCC) L20=L4+L13

CASE 21 (OCC) L21=L4+L14

CASE 22 (OCC) L22=L4+L15

CASE 23 (OCC) L23=L4+L16

CASE 24 (OCC) L24=L4+L17

CASE 25 (OCC) L25=L4+L18

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2016, Jan 31, 2017

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION PASSED ***

Highest Stresses: (KPa)

Ratio (%): 94.9 @Node 9953 LOADCASE: 22 (OCC) L22=L4+L15

Code Stress: 145386.2 Allowable Stress: 153139.4

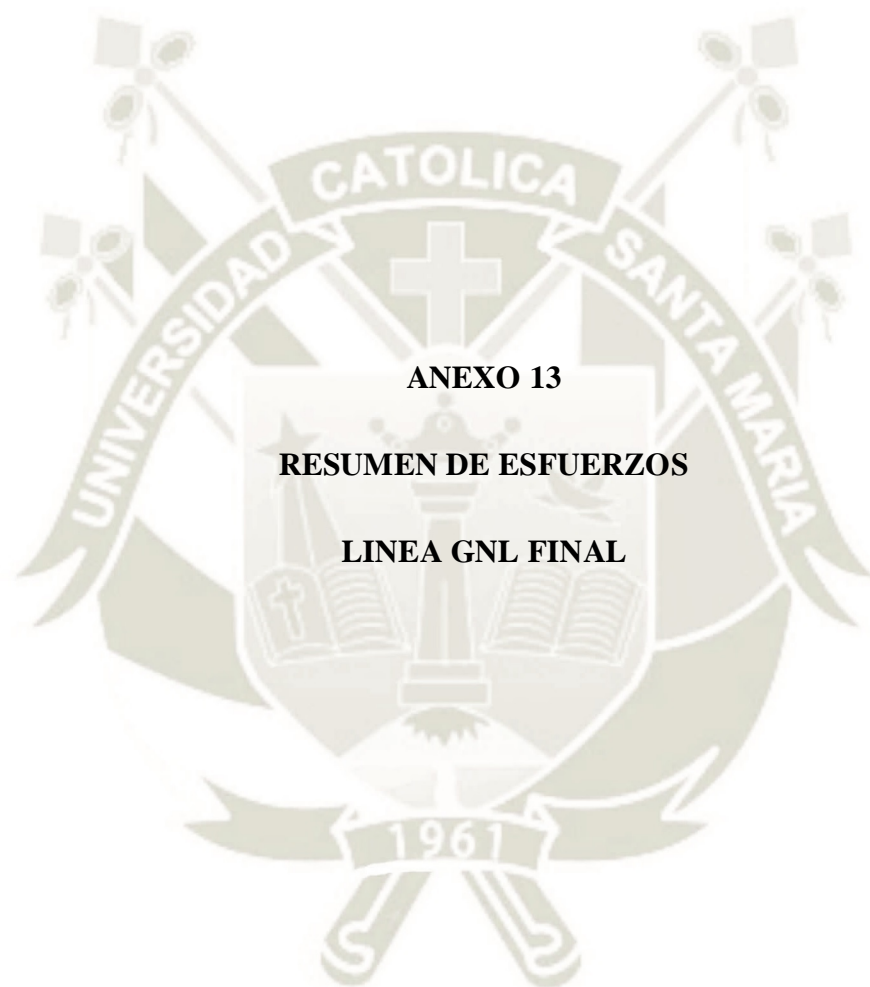
Axial Stress: 30327.9 @Node 1028 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP

Bending Stress: 246126.8 @Node 2201 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1

Torsion Stress: 26414.9 @Node 139 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1

Hoop Stress: 59086.2 @Node 1510 LOADCASE: 1 (HYD) WW+HP

Max Stress Intensity: 254520.0 @Node 2201 LOADCASE: 2 (OPE) W+T1+P1



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 18:36

Job Name: LINEA GNL FINAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

STRESS SUMMARY REPORT: Highest Stresses Mini Statement

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

CASE 3 (Alt-SUS) W+P1

CASE 4 (SUS) W+P1

CASE 19 (OCC) L19=L4+L12

CASE 20 (OCC) L20=L4+L13

CASE 21 (OCC) L21=L4+L14

CASE 22 (OCC) L22=L4+L15

CASE 23 (OCC) L23=L4+L16

CASE 24 (OCC) L24=L4+L17

CASE 25 (OCC) L25=L4+L18

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

Piping Code: B31.3 = B31.3 -2016, Jan 31, 2017

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

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 1 (HYD) WW+HP

Ratio (%): 50.4 @Node 630

Code Stress: 86913.5 Allowable Stress: 172368.9

Axial Stress: 30327.9 @Node 1028

Bending Stress: 76901.7 @Node 630

Torsion Stress: 12737.0 @Node 6285

Hoop Stress: 59086.2 @Node 1510

Max Stress Intensity: 106118.3 @Node 630

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

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 2 (OPE) W+T1+P1

Ratio (%): 0.0 @Node 2201

OPE Stress: 254833.7 Allowable Stress: 0.0

Axial Stress: 19342.2 @Node 1028

Bending Stress: 246126.8 @Node 2201

Torsion Stress: 26414.9 @Node 139

Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510

Max Stress Intensity: 254520.0 @Node 2201

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 3 (Alt-SUS) W+P1

Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 3 (Alt-SUS) W+P1

Ratio (%): 44.9 @Node 630

Code Stress: 51696.0 Allowable Stress: 115142.4

Axial Stress: 8388.6 @Node 1028

Bending Stress: 60326.9 @Node 630

Torsion Stress: 9986.5 @Node 6285

Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 66702.5 @Node 630

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 4 (SUS) W+P1
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 4 (SUS) W+P1
Ratio (%): 44.9 @Node 630
Code Stress: 51659.4 Allowable Stress: 115142.4
Axial Stress: 7167.9 @Node 1028
Bending Stress: 60294.8 @Node 630
Torsion Stress: 9987.6 @Node 6285
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 66687.7 @Node 630

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 19 (OCC) L19=L4+L12
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 19 (OCC) L19=L4+L12
Ratio (%): 79.2 @Node 618
Code Stress: 121223.4 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 8802.8 @Node 160
Bending Stress: 150063.5 @Node 618
Torsion Stress: 10048.4 @Node 6285
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 158734.2 @Node 618

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 20 (OCC) L20=L4+L13
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 20 (OCC) L20=L4+L13
Ratio (%): 70.3 @Node 288
Code Stress: 107631.5 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 8843.9 @Node 480
Bending Stress: 133538.8 @Node 289
Torsion Stress: 14592.2 @Node 119
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 141356.1 @Node 288

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 21 (OCC) L21=L4+L14
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 21 (OCC) L21=L4+L14
Ratio (%): 83.5 @Node 740
Code Stress: 127941.4 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 10298.2 @Node 750
Bending Stress: 152399.3 @Node 1238
Torsion Stress: 19062.5 @Node 1219
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 165657.5 @Node 1230

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 22 (OCC) L22=L4+L15
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 22 (OCC) L22=L4+L15
Ratio (%): 94.9 @Node 9953
Code Stress: 145386.2 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 9904.5 @Node 770
Bending Stress: 184452.3 @Node 9953
Torsion Stress: 19065.7 @Node 1219

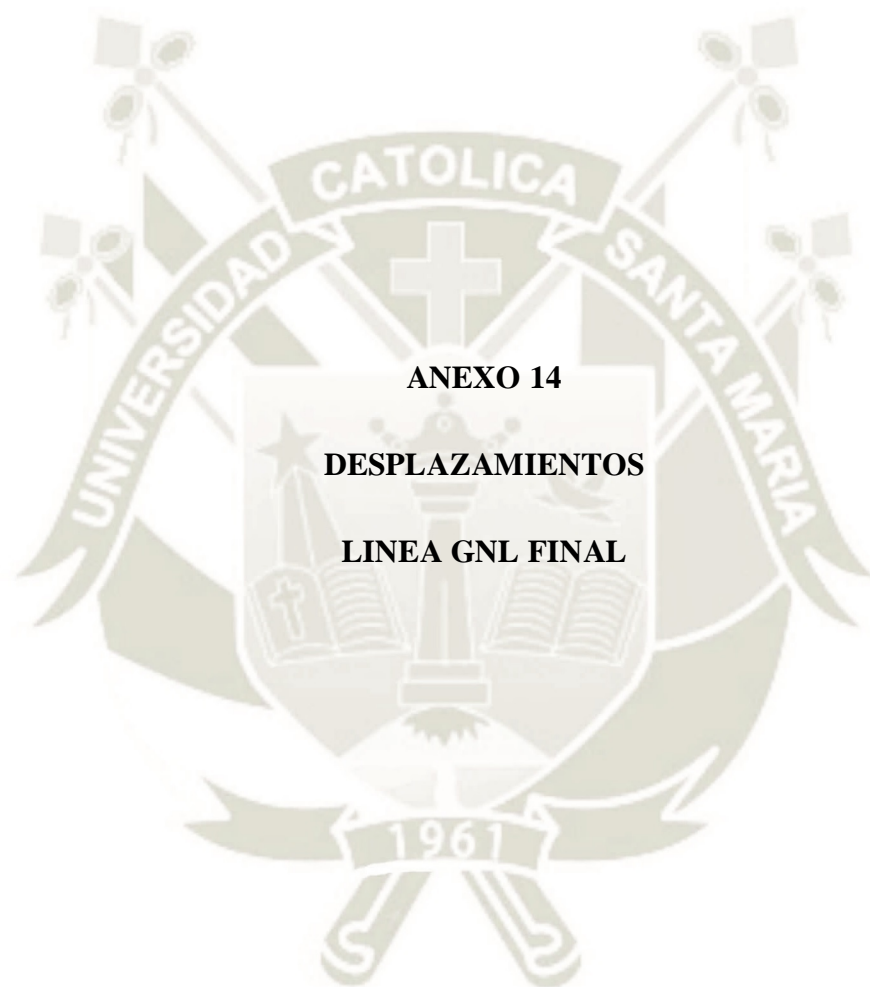
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 191499.2 @Node 9953

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 23 (OCC) L23=L4+L16
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 23 (OCC) L23=L4+L16
Ratio (%): 39.1 @Node 630
Code Stress: 59811.6 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 7549.7 @Node 1028
Bending Stress: 71032.6 @Node 630
Torsion Stress: 11744.6 @Node 6285
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 77505.7 @Node 630

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 24 (OCC) L24=L4+L17
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 24 (OCC) L24=L4+L17
Ratio (%): 39.5 @Node 630
Code Stress: 60528.9 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 7547.6 @Node 1028
Bending Stress: 71978.3 @Node 630
Torsion Stress: 11753.0 @Node 6285
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 78452.4 @Node 630

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 25 (OCC) L25=L4+L18
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 25 (OCC) L25=L4+L18
Ratio (%): 51.0 @Node 205
Code Stress: 78173.0 Allowable Stress: 153139.4
Axial Stress: 7224.3 @Node 1028
Bending Stress: 95177.7 @Node 205
Torsion Stress: 10024.0 @Node 6285
Hoop Stress: 12661.3 @Node 1510
Max Stress Intensity: 102150.1 @Node 205

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4
Highest Stresses: (KPa) LOADCASE 26 (EXP) L26=L2-L4
Ratio (%): 86.2 @Node 2201
Code Stress: 224513.9 Allowable Stress: 260522.0
Axial Stress: 12174.4 @Node 1020
Bending Stress: 221999.0 @Node 2201
Torsion Stress: 20997.6 @Node 139
Hoop Stress: 0.0 @Node 2068
Max Stress Intensity: 228645.0 @Node 1020



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 18:36

Job Name: LINEA GNL FINAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

DISPLACEMENTS REPORT: Nodal Movements

CASE 26 (EXP) L26=L2-L4

| Node | DX mm. | DY mm. | DZ mm. | RX deg. | RY deg. | RZ deg. |
|------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 10 | 6.776 | 11.914 | 1.403 | -0.087 | 0.081 | -0.2956 |
| 20 | 6.875 | 12.12 | 1.459 | -0.087 | 0.081 | -0.2957 |
| 25 | 9.863 | 18.297 | 3.107 | -0.0852 | 0.0739 | -0.2791 |
| 28 | 13.003 | 23.777 | 4.604 | -0.0833 | 0.0598 | -0.2036 |
| 29 | 13.477 | 23.905 | 4.628 | -0.0929 | 0.0311 | 0.0111 |
| 30 | 13.279 | 23.405 | 4.379 | -0.1024 | 0.0222 | 0.2345 |
| 35 | 0 | 17.641 | 0 | -0.1087 | -0.0108 | 0.3792 |
| 38 | -11.725 | 13.512 | -2.871 | -0.0714 | -0.0236 | 0.42 |
| 39 | -13.395 | 13.064 | -2.585 | 0.1186 | -0.008 | 0.4746 |
| 40 | -14.126 | 13.654 | -1.77 | 0.2941 | -0.0095 | 0.4846 |
| 48 | -13.908 | 18.597 | 0.508 | 0.3085 | -0.0187 | 0.5064 |
| 49 | -14.184 | 18.929 | 1.286 | 0.2369 | -0.0518 | 0.5285 |
| 50 | -15.226 | 17.361 | 1.833 | 0.156 | -0.0856 | 0.6168 |
| 55 | -16.049 | 16.049 | 1.949 | 0.1532 | -0.0862 | 0.6212 |
| 58 | -18.152 | 12.729 | 2.221 | 0.1477 | -0.0862 | 0.623 |
| 59 | -18.493 | 11.825 | 2.228 | 0.1413 | -0.0931 | 0.5645 |
| 60 | -18.442 | 10.97 | 2.128 | 0.1401 | -0.0909 | 0.4828 |
| 70 | -14.735 | 0 | 0 | 0.1203 | -0.0617 | 0.3114 |
| 80 | -0.001 | 0 | 0 | 0.0415 | 0.0186 | -0.0802 |
| 90 | 14.73 | 0 | 0 | -0.0373 | -0.0133 | 0.0119 |
| 100 | 29.471 | 0 | 0 | -0.1161 | 0.0351 | 0.0322 |
| 110 | 44.218 | 0 | 0 | -0.1949 | -0.1282 | -0.1418 |
| 113 | 46.076 | 2.282 | -2.056 | -0.2048 | -0.1842 | -0.2041 |
| 114 | 45.974 | 3.816 | -2.946 | -0.1303 | -0.4122 | -0.5025 |
| 115 | 43.799 | 5.27 | -3.302 | -0.0766 | -0.4729 | -0.7387 |
| 118 | 30.178 | 7.84 | -1.829 | -0.0851 | -0.5749 | -0.7377 |
| 119 | 26.769 | 8.531 | -1.684 | -0.11 | -0.5677 | -0.6177 |
| 120 | 23.543 | 9.211 | -2.033 | -0.1321 | -0.6571 | -0.6103 |
| 123 | 11.451 | 11.656 | -4.602 | -0.1366 | -0.6508 | -0.4987 |
| 124 | 9.655 | 12.793 | -5.892 | -0.0535 | -0.388 | -0.4234 |
| 125 | 9.745 | 13.934 | -6.946 | 0.0368 | -0.0659 | -0.1617 |
| 130 | 13.767 | 16.57 | -6.817 | 0.0314 | 0.0737 | -0.022 |
| 133 | 17.79 | 15.135 | -2.799 | 0.0261 | 0.2067 | 0.1236 |
| 134 | 17.693 | 14.056 | -1.271 | -0.0779 | 0.4964 | 0.4154 |
| 135 | 15.558 | 12.773 | 0.17 | -0.1891 | 0.7238 | 0.505 |
| 138 | 2.23 | 9.303 | 2.74 | -0.1937 | 0.7203 | 0.628 |
| 139 | -1.212 | 8.315 | 2.948 | -0.2158 | 0.6104 | 0.633 |
| 140 | -4.767 | 7.434 | 2.309 | -0.2407 | 0.6181 | 0.7694 |
| 145 | -12.228 | 6.088 | 0 | -0.2448 | 0.558 | 0.788 |
| 148 | -19.041 | 4.866 | -2.132 | -0.2468 | 0.5034 | 0.7757 |
| 149 | -21.305 | 3.385 | -2.446 | -0.3344 | 0.4267 | 0.507 |
| 150 | -21.395 | 1.906 | -1.888 | -0.4219 | 0.1723 | 0.176 |
| 155 | -19.539 | 0 | 0 | -0.4164 | 0.1168 | 0.1174 |
| 160 | -4.817 | 0 | 0 | -0.3735 | -0.0311 | -0.0312 |

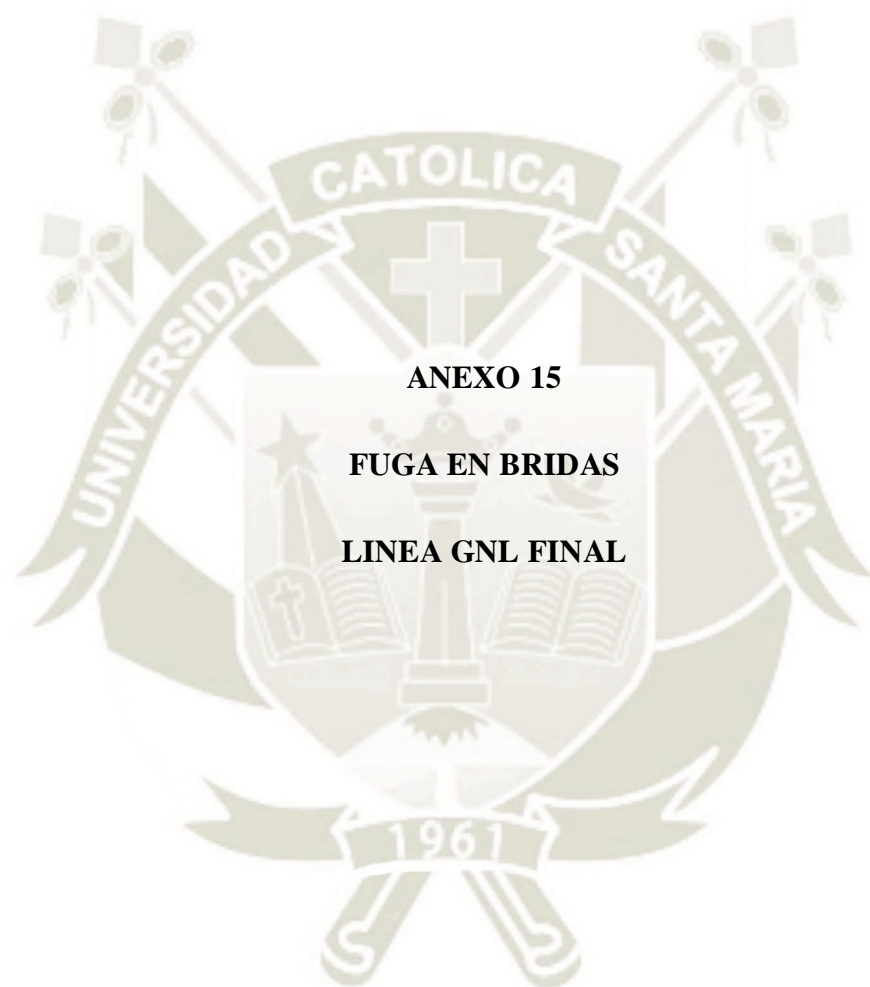
| | | | | | | |
|-----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 165 | 9.894 | 0 | 0 | -0.3305 | 0.0085 | 0.0083 |
| 170 | 24.612 | 0 | 0 | -0.2875 | -0.003 | -0.0024 |
| 175 | 39.338 | 0 | 0 | -0.2445 | 0.0036 | 0.0014 |
| 180 | 54.074 | 0 | 0 | -0.2015 | -0.0116 | -0.0033 |
| 185 | 68.819 | 0 | 0 | -0.1586 | 0.043 | 0.0119 |
| 190 | 83.568 | 0 | 0 | -0.1156 | -0.1617 | -0.0447 |
| 198 | 88.28 | 2.735 | -8.432 | -0.1019 | -0.3448 | -0.1333 |
| 199 | 88.339 | 3.912 | -10.285 | 0.0136 | -0.6642 | -0.386 |
| 200 | 86.665 | 5.167 | -11.762 | 0.1434 | -0.7646 | -0.5926 |
| 203 | 77.827 | 7.241 | -13.909 | 0.1499 | -0.8724 | -0.5953 |
| 204 | 74.331 | 7.505 | -14.753 | 0.1823 | -0.9048 | -0.5507 |
| 205 | 69.729 | 6.99 | -15.583 | 0.2034 | -1.0879 | -0.5848 |
| 208 | 34.823 | 8.297 | -20.793 | 0.0482 | 0.203 | -0.18 |
| 209 | 34.507 | 8.807 | -18.89 | -0.0139 | 0.7114 | -0.068 |
| 210 | 31.128 | 8.533 | -16.998 | -0.1584 | 1.1588 | -0.007 |
| 213 | -8.615 | 2.539 | -12.328 | -0.1908 | 1.1869 | 0.0317 |
| 214 | -12.301 | 1.771 | -10.276 | -0.1903 | 0.8527 | 0.0387 |
| 215 | -12.897 | 1.276 | -7.617 | -0.1958 | 0.4576 | 0.0653 |
| 220 | -10.203 | 0 | 0 | -0.182 | 0.3387 | 0.0626 |
| 230 | 4.539 | -2.674 | 9.259 | -0.1066 | -0.0803 | -0.0057 |
| 240 | 19.28 | 0 | 0 | -0.0312 | -0.015 | -0.0395 |
| 250 | 34.027 | 0 | 0 | 0.0443 | -0.1258 | 0.0881 |
| 258 | 37.274 | -2.625 | -4.271 | 0.0609 | -0.2468 | 0.1343 |
| 259 | 37.051 | -3.414 | -6.059 | 0.0944 | -0.5991 | 0.2175 |
| 260 | 34.402 | -4.23 | -7.693 | 0.1382 | -0.8904 | 0.245 |
| 268 | 12.447 | -7.556 | -11.127 | 0.13 | -0.8789 | 0.2808 |
| 269 | 9.954 | -8.398 | -12.678 | 0.0931 | -0.5243 | 0.2777 |
| 270 | 9.881 | -9.63 | -14.059 | 0.0928 | -0.1087 | 0.3077 |
| 280 | 16.264 | -23.681 | -12.677 | 0.0206 | 0.1635 | 0.2943 |
| 288 | 20.054 | -30.918 | -6.298 | -0.0223 | 0.3084 | 0.2366 |
| 289 | 19.758 | -31.527 | -4.318 | 0.0157 | 0.6365 | 0.0976 |
| 290 | 17.028 | -31.557 | -2.64 | 0.0171 | 0.8971 | 0.0682 |
| 298 | 4.994 | -31.402 | -0.771 | 0.0089 | 0.9097 | 0.0151 |
| 299 | 1.695 | -31.174 | -0.238 | -0.0026 | 0.8575 | 0.0109 |
| 300 | 0.318 | -30.648 | -0.007 | -0.0012 | 0.8515 | -0.0377 |
| 310 | 0 | -29.588 | 0 | -0.0001 | 0.821 | -0.0376 |
| 315 | -0.63 | -24.655 | -0.084 | 0.0036 | 0.6785 | -0.0023 |
| 320 | -0.389 | -19.721 | -0.169 | 0 | 0.5361 | 0.0123 |
| 325 | 0 | -14.788 | 0 | -0.011 | 0.3937 | 0.0062 |
| 330 | 0 | 0.002 | 0 | 0.0444 | -0.0336 | 0.0124 |
| 340 | 0 | 14.798 | 0 | -0.168 | -0.4608 | -0.0563 |
| 348 | -0.806 | 16.514 | 2.379 | -0.2087 | -0.5103 | -0.0728 |
| 349 | -2.081 | 17.419 | 3.04 | -0.2422 | -0.5728 | -0.1692 |
| 350 | -4.86 | 18.52 | 2.881 | -0.2236 | -0.7381 | -0.2325 |
| 353 | -18.631 | 22.595 | 0.323 | -0.2311 | -0.7721 | -0.2405 |
| 354 | -22.042 | 23.822 | 0.233 | -0.3049 | -0.8272 | -0.2611 |
| 355 | -24.368 | 24.854 | 1.24 | -0.3265 | -0.8398 | -0.2752 |
| 358 | -26.556 | 25.98 | 3.826 | -0.3124 | -0.8458 | -0.2713 |
| 359 | -28.798 | 26.748 | 4.359 | -0.0547 | -0.8334 | -0.2256 |
| 360 | -32.249 | 26.565 | 3.754 | 0.2551 | -0.824 | -0.2114 |

| | | | | | | |
|-----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 368 | -88.466 | -0.418 | -6.894 | 0.3813 | -0.5769 | -0.0823 |
| 369 | -89.627 | -1.593 | -7.866 | 0.3228 | -0.1361 | -0.0918 |
| 370 | -89.087 | -1.773 | -7.787 | 0.3158 | 0.2545 | -0.0677 |
| 380 | -85.213 | 0 | 0 | 0.2527 | 0.2623 | -0.0732 |
| 388 | -83.341 | 1.057 | 3.088 | 0.2222 | 0.2047 | -0.0807 |
| 389 | -82.759 | 1.045 | 3.173 | 0.2027 | -0.0448 | -0.094 |
| 390 | -83.09 | 0.561 | 2.462 | 0.1383 | -0.216 | -0.1118 |
| 398 | -84.11 | -0.057 | 1.813 | 0.1339 | -0.2204 | -0.1074 |
| 399 | -84.683 | -0.35 | 0.966 | 0.1224 | -0.1758 | -0.1019 |
| 400 | -84.372 | -0.26 | 0.307 | 0.1395 | -0.0529 | -0.0431 |
| 405 | -83.43 | 0 | 0 | 0.1386 | -0.0377 | -0.0318 |
| 425 | -76.057 | 0 | 0 | 0.131 | 0.0099 | 0.0084 |
| 430 | -68.687 | 0 | 0 | 0.1234 | -0.0033 | -0.0028 |
| 435 | -53.952 | 0 | 0 | 0.1083 | 0.0008 | 0.0007 |
| 440 | -41.68 | 0 | 0 | 0.0956 | -0.0001 | -0.0002 |
| 450 | -29.413 | 0 | 0 | 0.083 | -0.0003 | 0.0001 |
| 460 | -14.702 | 0 | 0 | 0.0679 | 0.0013 | 0 |
| 470 | -0.001 | 0 | 0 | 0.0527 | -0.0049 | 0 |
| 480 | 14.7 | 0 | 0 | 0.0375 | 0.0185 | 0 |
| 490 | 29.408 | 0 | 0 | 0.0224 | -0.0698 | 0 |
| 500 | 33.092 | 0 | -1.817 | 0.0186 | -0.0305 | 0 |
| 505 | 36.776 | 0 | 0 | 0.0148 | 0.2078 | 0 |
| 510 | 39.798 | -0.04 | 7.209 | 0.0038 | -0.6416 | -0.0029 |
| 608 | 40.471 | -0.002 | 7.957 | 0.011 | 0.3083 | 0.0002 |
| 609 | 41.064 | -0.017 | 8.198 | 0.0095 | -0.1228 | -0.0011 |
| 618 | -9.473 | -0.076 | -2.17 | -0.0022 | -0.6633 | -0.0014 |
| 619 | -10.898 | -0.058 | -3.238 | -0.0057 | -0.1877 | -0.0024 |
| 620 | -10.429 | -0.038 | -3.326 | -0.0065 | 0.2001 | -0.0026 |
| 628 | 33.567 | -6.836 | 6.673 | -0.1083 | 0.2199 | 0.2618 |
| 629 | 33.346 | -8.627 | 7.169 | -0.1383 | 0.1424 | 0.6025 |
| 630 | 30.602 | -10.284 | 6.737 | -0.192 | 0.1093 | 0.9453 |
| 640 | 0 | -14.691 | 0 | -0.2565 | 0.0412 | 0.9657 |
| 648 | -14.597 | -16.887 | -4.226 | -0.2648 | 0.0074 | 0.9149 |
| 649 | -17.611 | -17.627 | -4.663 | -0.0525 | -0.0783 | 0.7158 |
| 650 | -18.065 | -17.523 | -4.078 | 0.2136 | -0.2235 | 0.636 |
| 658 | 3.024 | 4.418 | 7.487 | 0.2068 | -0.2594 | 0.3267 |
| 659 | 3.511 | 4.477 | 8.051 | -0.0702 | -0.276 | 0.2932 |
| 660 | 3.115 | 3.703 | 7.524 | -0.2936 | -0.3182 | 0.1524 |
| 670 | 0 | 0.002 | 0 | -0.2298 | -0.2907 | 0.0891 |
| 680 | 0 | -14.794 | 0 | 0.0634 | -0.1809 | -0.0696 |
| 690 | 0 | -29.606 | 0 | -0.0259 | -0.0711 | 0.1914 |
| 698 | -2.82 | -31.434 | -0.32 | -0.0244 | -0.0575 | 0.2167 |
| 699 | -3.1 | -32.108 | -0.473 | -0.0097 | -0.0448 | 0.0009 |
| 700 | -2.411 | -31.704 | -0.572 | 0.0042 | -0.004 | -0.3286 |
| 710 | 2.969 | -15.314 | -0.331 | 0.0008 | 0.0125 | -0.5249 |
| 730 | 4.17 | -10.643 | -0.219 | 0 | 0.0131 | -0.5672 |
| 740 | 6.621 | 0 | 0 | -0.0016 | 0.0109 | -0.6518 |
| 748 | 10.685 | 19.293 | 0.232 | -0.0042 | 0.0064 | -0.617 |
| 749 | 11.655 | 20.506 | 0.243 | -0.0057 | 0.0035 | -0.1052 |
| 750 | 11.27 | 19.869 | 0.22 | -0.0082 | 0.0025 | 0.3755 |

| | | | | | | |
|------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 760 | 0 | 15.814 | 0 | -0.0059 | 0.0024 | 0.3163 |
| 770 | 0 | 1.078 | 0 | 0.0016 | 0.0021 | -0.084 |
| 780 | 0 | -13.649 | 0 | -0.0004 | 0.0019 | 0.0223 |
| 790 | 0 | -28.386 | 0 | 0.0002 | 0.0016 | -0.0059 |
| 800 | 0 | -43.132 | 0 | -0.0002 | 0.0014 | 0.0016 |
| 810 | 0 | -57.888 | 0 | 0.0007 | 0.0011 | -0.0004 |
| 820 | 0 | -72.653 | 0 | -0.0027 | 0.0008 | 0.0001 |
| 830 | 0 | -87.427 | 0 | 0.0103 | 0.0006 | 0 |
| 840 | 0 | -102.21 | 0 | -0.0388 | 0.0003 | 0 |
| 850 | 0 | -117.004 | 0 | 0.1461 | 0.0001 | -0.0001 |
| 858 | 0.003 | -121.013 | 6.066 | 0.281 | 0 | -0.0001 |
| 859 | 0.003 | -120.788 | 7.897 | 0.5896 | 0 | -0.0001 |
| 860 | 0.003 | -118.206 | 9.506 | 0.8781 | -0.0001 | -0.0001 |
| 863 | 0.004 | -112.126 | 10.47 | 0.9038 | -0.0001 | -0.0001 |
| 864 | 0.004 | -108.114 | 9.37 | 1.1177 | -0.0002 | -0.0001 |
| 865 | 0.005 | -105.734 | 4.995 | 1.3129 | -0.0002 | 0 |
| 866 | 0.005 | -94.271 | -22.975 | 1.7248 | -0.0001 | -0.0001 |
| 867 | 0.004 | -100.682 | -20.995 | 1.5509 | -0.0002 | -0.0001 |
| 868 | 0.003 | 70.767 | -9.042 | 1.4582 | 0.0003 | -0.0003 |
| 869 | 0.001 | 75.093 | -6.783 | 0.9238 | 0.0008 | -0.0001 |
| 870 | 0 | 75.709 | -4.182 | 0.3694 | 0.001 | 0 |
| 871 | 0.004 | -103.532 | -15.759 | 1.3583 | -0.0002 | 0 |
| 880 | 0 | 73.822 | 0 | 0.2568 | 0.0011 | 0 |
| 890 | 0 | 59.044 | 0 | -0.0682 | 0.0025 | 0 |
| 900 | 0 | 44.267 | 0 | 0.0181 | 0.0038 | 0 |
| 910 | 0 | 29.502 | 0 | -0.0048 | 0.0052 | 0 |
| 920 | 0 | 14.746 | 0 | 0.0013 | 0.0065 | 0 |
| 930 | 0 | 0 | 0 | -0.0004 | 0.0078 | -0.0001 |
| 940 | 0 | -14.747 | 0 | 0.0002 | 0.0092 | 0.0003 |
| 950 | 0 | -29.504 | 0 | -0.0003 | 0.0105 | -0.001 |
| 960 | 0 | -44.27 | 0 | 0.0012 | 0.0118 | 0.0036 |
| 970 | 0 | -59.045 | 0 | -0.0046 | 0.0132 | -0.0136 |
| 980 | 0 | -73.828 | 0 | 0.0172 | 0.0145 | 0.0511 |
| 983 | -7.65 | -82.138 | 1.644 | 0.0326 | 0.0153 | 0.2401 |
| 984 | -9.338 | -81.969 | 1.736 | 0.0288 | 0.0169 | 0.5577 |
| 985 | -10.904 | -79.479 | 1.707 | 0.0265 | 0.0212 | 0.86 |
| 990 | -26.336 | -18.129 | -1.952 | -0.0311 | 0.1486 | -0.0105 |
| 993 | -11.002 | 21.444 | 13.696 | -0.1302 | 0.2311 | -0.5769 |
| 994 | -9.747 | 23.093 | 14.282 | -0.1509 | 0.1923 | -0.4031 |
| 995 | -8.375 | 23.092 | 13.899 | -0.2025 | 0.1696 | -0.2183 |
| 1000 | 0 | 14.774 | 0 | -0.2811 | 0.1302 | -0.0731 |
| 1005 | 1.207 | 11.266 | -7.081 | -0.2634 | 0.1135 | -0.0266 |
| 1010 | 1.272 | 10.892 | -7.772 | -0.2539 | 0.1117 | -0.0224 |
| 1015 | 0 | -0.006 | 0 | 0.6665 | 0.06 | 0.0337 |
| 1018 | -0.302 | -1.289 | 6.79 | 0.7645 | 0.054 | 0.0327 |
| 1019 | -0.343 | -2.937 | 9.393 | 0.6103 | 0.0483 | 0.0349 |
| 1020 | -0.264 | -4.521 | 9.593 | 0.1049 | 0.0233 | 0.0422 |
| 1028 | 0.149 | 3.769 | -6.395 | 0.0662 | -0.007 | 0.0189 |
| 1029 | 0.096 | 2.41 | -6.3 | 0.5273 | -0.005 | 0.0166 |
| 1030 | 0.044 | 0.915 | -4.097 | 0.6372 | -0.0019 | 0.0074 |

| | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1040 | 0 | 0.002 | 0 | 0.5802 | -0.002 | 0.0062 |
| 1050 | -0.102 | -7.393 | 13.142 | -0.001 | -0.0023 | -0.0011 |
| 1060 | 0 | -14.787 | 7.514 | -0.1368 | -0.0027 | -0.0016 |
| 1070 | 0.027 | -22.182 | 2.344 | -0.0664 | -0.003 | 0.0003 |
| 1080 | 0 | -29.577 | 0 | -0.0289 | -0.0034 | 0.0004 |
| 1090 | 0 | -36.975 | 0 | 0.0484 | -0.0038 | -0.0005 |
| 1098 | 0.02 | -40.986 | 2.56 | 0.139 | -0.004 | -0.0008 |
| 1099 | 0.029 | -41.036 | 3.761 | 0.3977 | -0.0039 | -0.0005 |
| 1100 | 0.044 | -39.251 | 5.049 | 0.6512 | -0.0038 | -0.0004 |
| 1103 | 0.07 | -34.727 | 6.013 | 0.6747 | -0.0038 | -0.0003 |
| 1104 | 0.083 | -31.601 | 5.283 | 0.8757 | -0.0035 | -0.0003 |
| 1105 | 0.088 | -29.606 | 1.847 | 1.0546 | -0.0035 | -0.0002 |
| 1106 | 0.094 | -20.111 | -20.315 | 1.2964 | -0.0018 | -0.0016 |
| 1107 | 0.087 | -25.053 | -18.918 | 1.2037 | -0.0028 | -0.0011 |
| 1108 | 0.039 | 101.87 | -6.391 | 1.0622 | 0.0044 | -0.0035 |
| 1109 | 0.015 | 104.931 | -4.619 | 0.6565 | 0.0103 | -0.0016 |
| 1110 | -0.001 | 105.203 | -2.746 | 0.2456 | 0.0119 | 0 |
| 1111 | 0.085 | -27.404 | -14.83 | 1.089 | -0.0033 | -0.0002 |
| 1120 | 0 | 103.315 | 0 | 0.1678 | 0.0139 | -0.0001 |
| 1130 | 0 | 88.529 | 0 | -0.0446 | 0.0294 | 0 |
| 1140 | 0 | 73.747 | 0 | 0.0118 | 0.0449 | 0 |
| 1150 | 0 | 58.977 | 0 | -0.0031 | 0.0604 | 0 |
| 1160 | 0 | 44.217 | 0 | 0.0008 | 0.0759 | 0 |
| 1170 | 0 | 29.467 | 0 | -0.0002 | 0.0914 | 0 |
| 1180 | 0 | 14.727 | 0 | 0 | 0.1069 | 0 |
| 1185 | 0 | -0.003 | 0 | 0 | 0.1224 | 0.0002 |
| 1190 | 0 | -14.738 | 0 | -0.0002 | 0.1379 | -0.0007 |
| 1195 | 0 | -29.483 | 0 | 0.0007 | 0.1534 | 0.0027 |
| 1200 | 0 | -44.237 | 0 | -0.0026 | 0.1689 | -0.01 |
| 1205 | 0 | -59 | 0 | 0.0097 | 0.1844 | 0.0377 |
| 1210 | 0 | -67.615 | 0 | -0.0301 | 0.1934 | -0.1168 |
| 1213 | 4.457 | -70.951 | -1.26 | -0.0815 | 0.1969 | -0.2562 |
| 1214 | 6.408 | -71.169 | -2.108 | -0.2593 | 0.3032 | -0.5578 |
| 1215 | 8.751 | -70.112 | -3.128 | -0.3981 | 0.4061 | -0.6458 |
| 1218 | 14.847 | -64.04 | -5.259 | -0.3935 | 0.4011 | -0.7489 |
| 1219 | 16.501 | -61.511 | -5.211 | -0.3441 | 0.3552 | -0.7772 |
| 1220 | 17.557 | -57.726 | -4.21 | -0.3774 | 0.2942 | -0.9548 |
| 1225 | 19.646 | -43.315 | 0 | -0.3092 | 0.274 | -0.9852 |
| 1228 | 21.735 | -28.839 | 3.882 | -0.241 | 0.2557 | -0.9668 |
| 1229 | 20.961 | -25.321 | 4.999 | -0.1706 | 0.15 | -0.7651 |
| 1230 | 18.752 | -23.714 | 5.452 | 0.0249 | 0.0757 | -0.5384 |
| 1235 | 6.849 | -20.359 | 4.08 | 0.0841 | 0.062 | -0.4748 |
| 1238 | -8.729 | -15.312 | -0.335 | 0.1933 | 0.0279 | -0.41 |
| 1239 | -9.836 | -14.538 | -0.971 | 0.3798 | 0.0053 | -0.3622 |
| 1240 | -10.203 | -13.067 | -1.08 | 0.5228 | -0.0323 | -0.3433 |
| 1243 | -9.879 | -8.044 | 0.261 | 0.5253 | -0.0334 | -0.335 |
| 1244 | -9.747 | -6.301 | 0.501 | 0.4137 | -0.0076 | -0.2905 |
| 1245 | -9.543 | -5.106 | 0.45 | 0.3385 | 0.0487 | -0.1807 |
| 1250 | -7.74 | -2.074 | 0 | 0.2506 | 0.0562 | -0.0676 |
| 1255 | -4.873 | -1.306 | 0 | 0.1529 | 0.0439 | 0.0183 |

| | | | | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1260 | -0.212 | -0.057 | 0 | 0.0004 | 0.0001 | -0.0001 |
| 1270 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1505 | 6.675 | 20.191 | 2.029 | -0.1057 | -0.0025 | 0.3441 |
| 1510 | 5.748 | 19.862 | 1.685 | -0.1062 | -0.004 | 0.352 |
| 2201 | 30.467 | 1.798 | -23.282 | 0.1488 | -0.0436 | -0.2533 |
| 2205 | 32.645 | 5.331 | -22.99 | 0.0985 | 0.0809 | -0.2082 |
| 6210 | -8.236 | 0 | 0 | -0.0078 | 0.1876 | -0.0022 |
| 6215 | -0.871 | 0.067 | 3.105 | -0.0124 | -0.0335 | -0.0002 |
| 6220 | 6.494 | 0 | 0 | -0.017 | -0.0496 | 0.0029 |
| 6225 | 10.177 | -0.089 | -0.787 | -0.0192 | -0.0133 | 0.0034 |
| 6226 | 13.861 | -0.161 | -0.807 | -0.0215 | 0.0091 | 0.0016 |
| 6230 | 21.227 | 0 | 0 | -0.0261 | 0.0121 | -0.0094 |
| 6235 | 28.599 | 0.58 | 0.148 | -0.0307 | -0.0031 | -0.0062 |
| 6240 | 35.971 | 0 | 0 | -0.0352 | 0.0008 | 0.035 |
| 6242 | 40.889 | -1.566 | 0.131 | -0.0383 | 0.005 | 0.0432 |
| 6245 | 45.806 | -2.307 | 0.243 | -0.0413 | -0.0004 | -0.0123 |
| 6250 | 50.724 | 0 | 0 | -0.0444 | -0.0153 | -0.1315 |
| 6258 | 52.582 | 2.107 | -0.245 | -0.0455 | -0.0209 | -0.1878 |
| 6259 | 52.537 | 3.526 | -0.283 | -0.0424 | -0.0329 | -0.4568 |
| 6260 | 50.585 | 4.895 | -0.173 | -0.0466 | -0.0336 | -0.669 |
| 6268 | 38.256 | 7.465 | 0.721 | -0.0534 | -0.0376 | -0.6671 |
| 6269 | 36.334 | 8.818 | 0.93 | -0.0838 | -0.0282 | -0.4416 |
| 6270 | 36.32 | 10.153 | 0.982 | -0.0925 | -0.0207 | -0.1592 |
| 6274 | 38.031 | 11.758 | 0.73 | -0.1031 | -0.0199 | -0.105 |
| 6275 | 40.344 | 12.867 | 0.443 | -0.1175 | -0.0138 | -0.0297 |
| 6278 | 44.368 | 11.792 | 0.35 | -0.1425 | 0.0105 | 0.1063 |
| 6279 | 44.403 | 10.599 | 0.288 | -0.13 | 0.0634 | 0.4215 |
| 6280 | 42.487 | 9.259 | -0.097 | -0.1392 | 0.072 | 0.6827 |
| 6283 | 29.787 | 6.689 | -2.699 | -0.1459 | 0.1016 | 0.6944 |
| 6284 | 27.673 | 5.243 | -3.063 | -0.1289 | 0.1203 | 0.5191 |
| 6285 | 27.51 | 3.512 | -2.666 | -0.1046 | 0.1928 | 0.29 |
| 6290 | 29.369 | 0 | 0 | -0.1057 | 0.2128 | 0.2434 |
| 9850 | -19.223 | -25.935 | 0 | 0.0191 | 0.043 | 0.8805 |
| 9853 | -20.94 | -15.535 | -0.572 | 0.0175 | 0.0517 | 0.8297 |
| 9854 | -22.429 | -13.211 | -0.839 | 0.0006 | 0.0967 | 0.5 |
| 9855 | -23.851 | -13.144 | -1.05 | -0.0217 | 0.1121 | 0.1568 |
| 9950 | -19.326 | -14.435 | 0 | -0.0778 | 0.2236 | -0.6011 |
| 9953 | -23.45 | -23.113 | -3.345 | -0.0495 | 0.1851 | -0.1478 |
| 9954 | -22.267 | -23.18 | -3.295 | -0.0708 | 0.1852 | -0.3721 |
| 9955 | -21.043 | -21.589 | -2.662 | -0.067 | 0.2148 | -0.5739 |



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 18:36

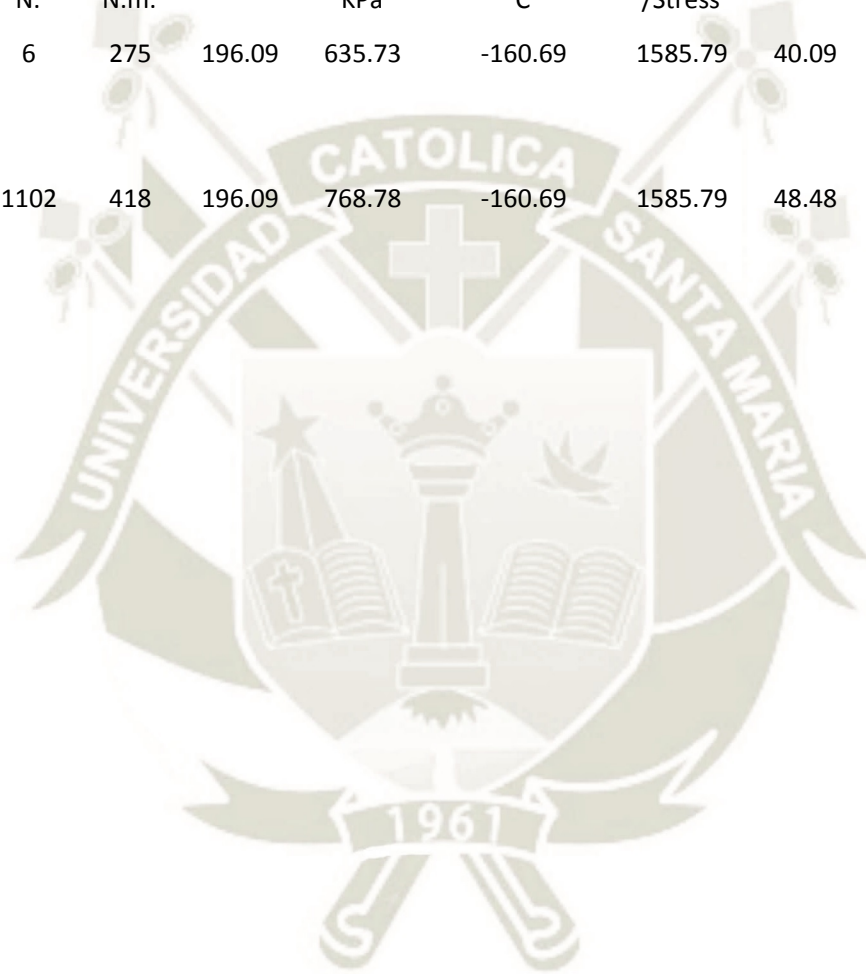
Job Name: LINEA GNL FINAL

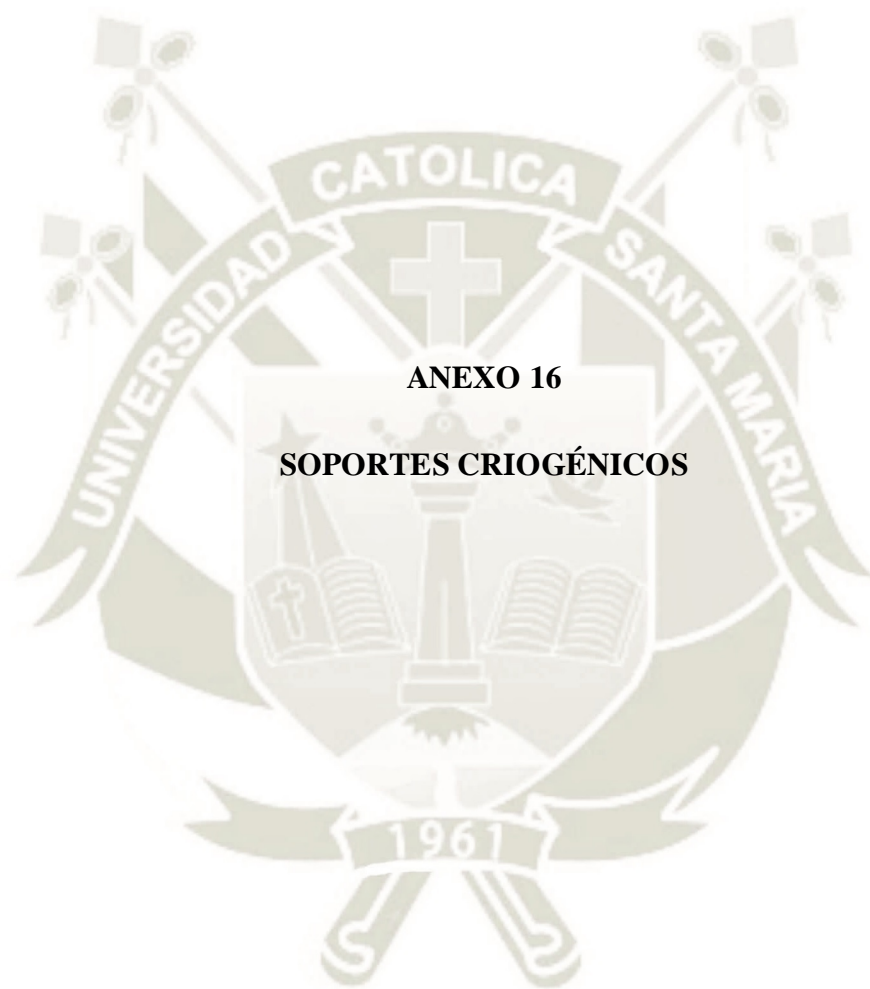
Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

FLANGE PEQ REPORT: Flange (Equiv Pressure Method)

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

| Node | Axial Force N. | Bending Moment N.m. | G/C mm. | Pressure Equivalent KPa | Rating Temperature C | Allowable Pressure /Stress | Ratio % |
|--------------|-------------------|------------------------|------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------|
| 10 20 | 6 | 275 | 196.09 | 635.73 | -160.69 | 1585.79 | 40.09 |
| 1260 1270 | 1102 | 418 | 196.09 | 768.78 | -160.69 | 1585.79 | 48.48 |





ANEXO 16

SOPORTES CRIOGÉNICOS

| TYPE CS01 CRYOGENIC PIPE SHOE | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|-----|----------------------------------|----|---------|--------|---------------------|------------|
| PIPE SIZE NB | DIMENSIONS | | | | | | ALLOWABLE LOADS (N) | |
| | A | L | H | T1 | T2 | T3 | MAX VERT. | MAX HORIZ. |
| 1/2" | 100 | 150 | 100 + INSULATION THICKNESS (UNO) | 10 | 6 | 6 | 1176 | 679 |
| 3/4" | 100 | | | 10 | 6 | 6 | 1474 | 851 |
| 1" | 100 | | | 10 | 6 | 6 | 1861 | 1074 |
| 1 1/2" | 100 | | | 10 | 6 | 6 | 2667 | 1540 |
| 2" | 100 | 300 | | 10 | 8 | 6 | 6661 | 3845 |
| 3" | 100 | | | 10 | 10 | 6 | 9820 | 5670 |
| 4" | 150 | | | 10 | 6 | 6 | 12626 | 7290 |
| 6" | 150 | | | 10 | 6 | 8 | 45438 | 26234 |
| 8" | 200 | 450 | | 10 | 6 | 8 | 59153 | 34153 |
| 10" | 250 | | | 10 | 6 | 8 | 73705 | 42555 |
| 12" | 300 | | | 10 | 6 | 10 | 87447 | 50489 |
| 14" | 330 | | | 10 | 8 | 10 | 96006 | 55430 |
| 16" | 350 | | | 12 | 8 | 10 | 109721 | 63349 |
| 18" | 350 | | | 12 | 8 | 10 | 123382 | 71237 |
| 20" | 400 | 750 | | 12 | 8 | 10 | 137151 | 79187 |
| 24" | 500 | | | 15 | 8 | 10 | 494071 | 285260 |
| 30" | 600 | | 15 | 8 | 10 | 617183 | 356341 | |
| 36" | 650 | | 15 | 10 | 10 | 740296 | 427422 | |
| 40" | 650 | | 15 | 10 | 10 | 822911 | 475122 | |
| 42" | 810 | | 15 | 10 | 12 | 864057 | 498878 | |
| 48" | 880 | | 15 | 10 | 12 | 987494 | 570146 | |
| 54" | 1080 | | 15 | 10 | 12 | 111093 | 641415 | |
| 56" | 1080 | 15 | 10 | 12 | 1152076 | 665191 | | |
| 64" | 1080 | 15 | 10 | 12 | 1316658 | 760195 | | |
| 72" | 1200 | 15 | 10 | 12 | 1481241 | 855220 | | |

SEE NOTE 2 & 3

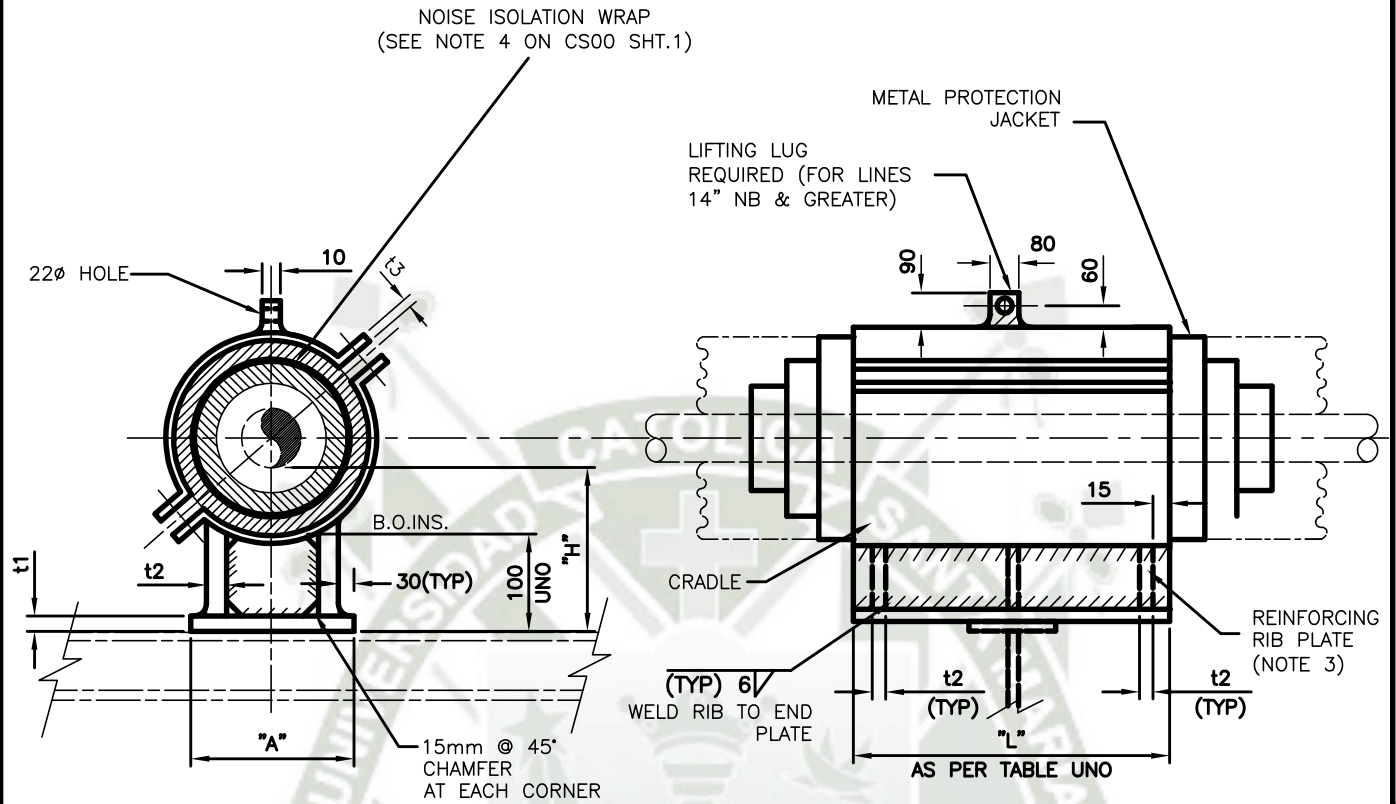


NOTES:

1. REFER TO CS00 SHEET 1 FOR GENERAL NOTES & PUF PROPERTIES.
2. PIPE SIZES 24" & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOE IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.
3. CENTRAL REINFORCED RIB ONLY APPLICABLE FOR 24" NB LINES & ABOVE OR SHOES OF 500 LONG OR OVER.

TITLE: **MAXIMUM ALLOWABLE LOADS & DIMENSIONS
TYPE CS01 CRYOGENIC SHOE (1/2" TO 72")**

STANDARD SUPPORT
CS00



FOR PIPE SIZES 4" TO 72" N.B.

NOTES:

1. REFER TO CS00 SHEET. 1 & 2 FOR GENERAL NOTES, STD DIMN'S & MAX ALLOWABLE LOADS.
2. PIPE SIZES 24" NB & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOES IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.
3. CENTRAL REINFORCED RIB ONLY APPLICABLE FOR 24" NB LINES & ABOVE OR SHOES OF 500 LONG OR OVER.

| MDS | |
|-------------------------------------|-------|
| SYMBOL ILLUSTRATION: 6-CS01-H-L-I-T | |
| PIPE SIZE | _____ |
| SHOE HEIGHT | _____ |
| SHOE LENGTH | _____ |
| INSULATION THICKNESS | _____ |
| INSULATION TYPE | _____ |
| NON MDS | |
| SYMBOL ILLUSTRATION: CS01-6 | |
| PIPE SIZE | _____ |

TITLE:

**PIPE SHOE FOR CRYOGENIC
INSULATED PIPE (4" TO 72" NB)**

STANDARD SUPPORT

CS01

| PIPE SIZE NB | MAX. ALLOWABLE LOADS (N) | | | |
|-----------------|--------------------------|---------|--------|-------|
| | VERT. | HORIZ. | AXIAL | |
| ½" | 1176 | 679 | 1696 | |
| ¾" | 1474 | 851 | 150 | |
| 1" | 1861 | 1074 | 170 | |
| 1½" | 2667 | 1540 | 470 | |
| 2" | 6661 | 3845 | 780 | |
| 3" | 9820 | 5670 | 810 | |
| 4" | 12626 | 7290 | 1390 | |
| 6" | 45438 | 26234 | 1480 | |
| 8" | 59153 | 34153 | 2220 | |
| 10" | 73705 | 42555 | 1610 | |
| 12" | 87447 | 50489 | 5550 | |
| 14" | 96006 | 55430 | 7530 | |
| 16" | 109721 | 63349 | 4200 | |
| 18" | 123382 | 71237 | 7400 | |
| 20" | 137151 | 79187 | 13120 | |
| SEE NOTE 2 & 3 | 24" | 494071 | 285260 | 9960 |
| | 30" | 617183 | 356341 | 12100 |
| | 36" | 740296 | 427422 | 6760 |
| | 40" | 822911 | 475122 | 9300 |
| | 42" | 864057 | 498878 | 11790 |
| | 48" | 987494 | 570146 | 15230 |
| | 56" | 1152076 | 665171 | 13000 |
| | 64" | 1316658 | 760195 | 12000 |
| | 72" | 1481241 | 855220 | 10800 |

NOTES:

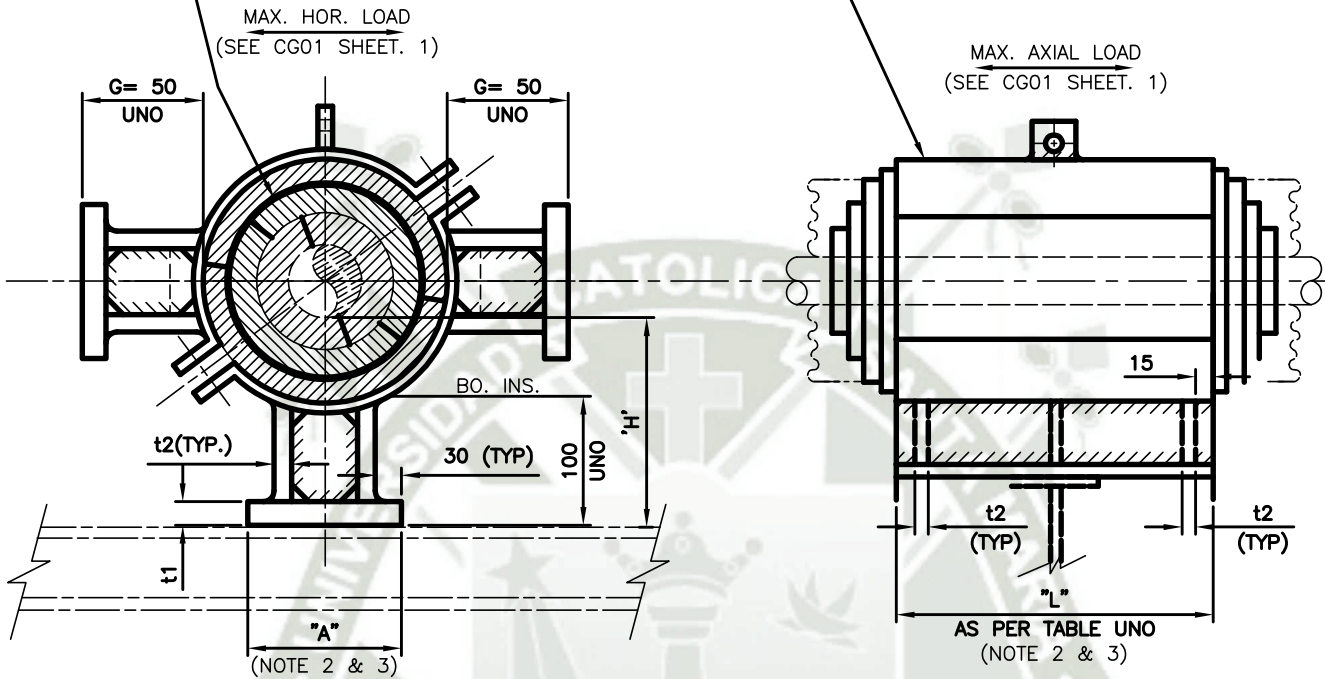
1. REFER TO CS00 SHEET 1 FOR GENERAL NOTES & PUF PROPERTIES.
2. PIPE SIZES 24" & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOE IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.
3. CENTRAL REINFORCED RIB ONLY APPLICABLE FOR 24" NB LINES & ABOVE OR SHOES OF 500 LONG OR OVER.

TITLE: **MAXIMUM ALLOWABLE LOADS FOR TYPE CG01 & CG03 CRYOGENIC SHOE GUIDE (1/2" TO 72")**

STANDARD SUPPORT
CG01

NOISE ISOLATION WRAP
(SEE NOTE 4 ON CS00 SHEET. 1)

CRADLE (SEE NOTE 2 & 3)



FOR PIPE SIZES 4" TO 72" N.B.

NOTES:

1. REFER TO CG01 SHEET. 1 FOR MAX. ALLOWABLE LOADS.
2. REFER TO CS00 SHEET. 1 & 2 FOR GENERAL NOTES & STD. DIMNS.
3. REFER TO CS01 SHEET. 1 & 2 FOR CRADLE DETAILS & INSULATION REQUIREMENTS.
4. PIPE SIZES 24" NB & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOE IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.

MDS

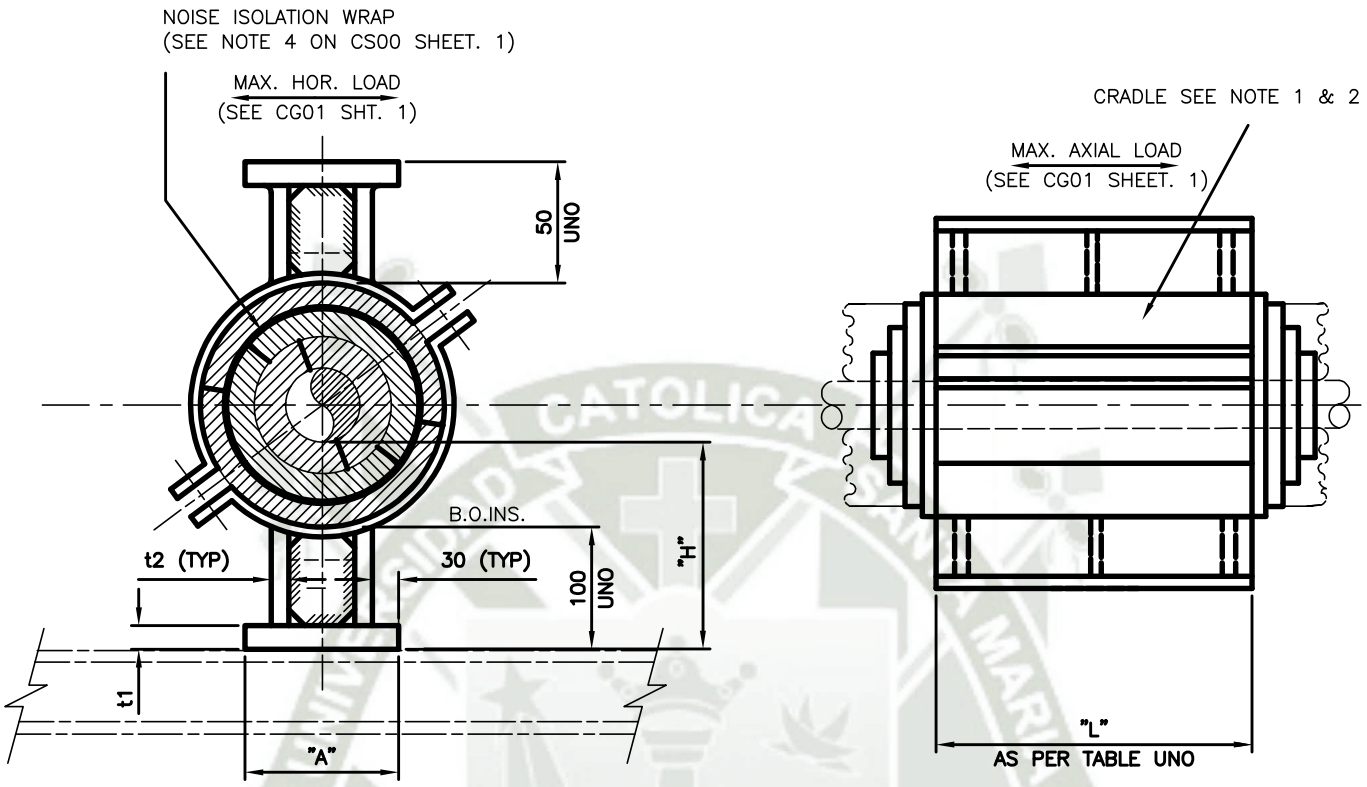
SYMBOL ILLUSTRATION: 10-CG01-H-L-I-T
 PIPE SIZE _____
 SHOE HEIGHT _____
 SHOE LENGTH _____
 INSULATION THICKNESS _____
 INSULATION TYPE _____

NON MDS

SYMBOL ILLUSTRATION: CG01-10
 PIPE SIZE _____

TITLE: CRYOGENIC SHOE GUIDE (LATERAL GUIDE)
 PIPE SIZES 4" TO 72" NB (LARGE LOADS)

STANDARD SUPPORT
 CG01



FOR PIPE SIZES 4" TO 72" N.B.

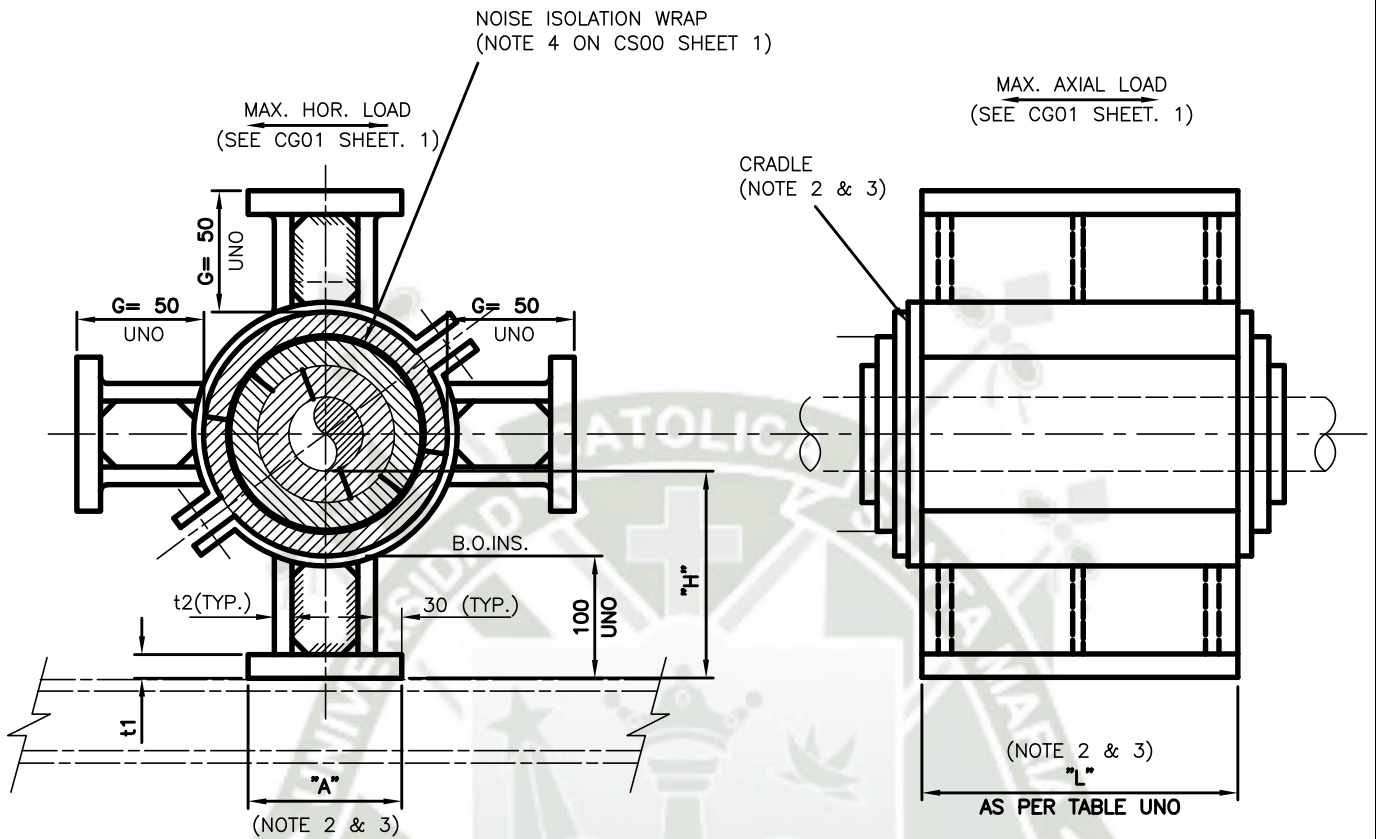
NOTES:

1. REFER TO CS00 SHEET. 1 & 2 FOR GENERAL NOTES STD. DIMNS & MAX ALLOWABLE LOADS.
2. REFER TO CS01 SHEET. 1 & 2 FOR CRADLE DETAILS & INSULATION REQUIREMENTS.
3. PIPE SIZES 24" NB & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOE IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.

| MDS | |
|--------------------------------------|-------|
| SYMBOL ILLUSTRATION: 10-CG02-H-L-I-T | |
| PIPE SIZE _____ | _____ |
| SHOE HEIGHT _____ | _____ |
| SHOE LENGTH _____ | _____ |
| INSULATION THICKNESS _____ | _____ |
| INSULATION TYPE _____ | _____ |
| NON MDS | |
| SYMBOL ILLUSTRATION: CG02-10 | |
| PIPE SIZE _____ | _____ |

TITLE: **CRYOGENIC HOLD-DOWN SHOE
PIPE SIZES 4" TO 72" NB**

STANDARD SUPPORT
CG02



FOR PIPE SIZES 4" TO 72" N.B.

NOTES:

1. REFER TO CG01 SHEET. 1 FOR MAX. ALLOWABLE LOADS.
2. REFER TO CS00 SHEET. 1 & 2 FOR GENERAL NOTES & STD. DIMNS.
3. REFER TO CS01 SHEET. 1 & 2 FOR CRADLE DETAILS & INSULATION REQUIREMENTS.
4. PIPE SIZES 24" NB & ABOVE TO HAVE PTFE SLIDE UNIT UNDER SHOE IF ADVISED BY STRESS ENGINEER.

| MDS | |
|----------------------|-----------------|
| SYMBOL ILLUSTRATION: | 10-CG02-H-L-I-T |
| PIPE SIZE | _____ |
| SHOE HEIGHT | _____ |
| SHOE LENGTH | _____ |
| INSULATION THICKNESS | _____ |
| INSULATION TYPE | _____ |
| NON MDS | |
| SYMBOL ILLUSTRATION: | CG02-10 |
| PIPE SIZE | _____ |

TITLE:

**CRYOGENIC HOLD-DOWN GUIDE
PIPE SIZES 4" TO 72" NB**

STANDARD SUPPORT

CG03



CAESARII2018Ver.10.00.00.7700,(Build170726)Date:SEP17,2018Time:18:36

JobName:LINEAGNLFINAL

LicensedTo:SPLM>Editcompanynamein<system>\company.txt

RESTRAINTSUMMARYREPORT:LoadsOnRestraints

VariousLoadCases

LOADCASEDEFINITIONKEY

CASE1(HYD)WW+HP

CASE2(OPE)W+T1+P1

CASE4(SUS)W+P1

CASE19(OCC)L19=L4+L12

CASE20(OCC)L20=L4+L13

CASE21(OCC)L21=L4+L14

CASE22(OCC)L22=L4+L15

CASE23(OCC)L23=L4+L16

CASE24(OCC)L24=L4+L17

CASE25(OCC)L25=L4+L18

CASE26(EXP)L26=L2-L4

| Node | Load Case | FX N. | FY N. | FZ N. | MX N.m. | MY N.m. | MZ N.m. |
|------|-----------|-------------------------------------|-----------|----------|------------|------------|------------|
| 35 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 3159/L20 | 1822/L26 | -4184/L2 | | | |
| 55 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; -6985/L26 | -7147/L26 | -777/L1 | | | |
| 70 | MAX | TYPE=RigidZ;RigidGUI; 572/L21 | 6323/L2 | 2911/L21 | | | |
| 80 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 1382/L22 | -2492/L2 | -3504/L1 | | | |
| 90 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 1655/L20 | 1172/L21 | -3178/L1 | | | |
| 100 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 519/L26 | -1393/L2 | -3403/L1 | | | |
| 110 | MAX | TYPE=RigidZ;RigidGUI; 1136/L26 | 1836/L21 | -3986/L1 | | | |
| 145 | MAX | TYPE=RigidZ; 5036/L19 | 1125/L26 | 9932/L25 | | | |
| 155 | MAX | TYPE=RigidZ;RigidGUI; 2700/L19 | 2544/L22 | 6581/L25 | | | |
| 160 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 1789/L19 | -905/L26 | -4592/L1 | | | |
| 165 | MAX | TYPE=RigidZ;RigidGUI; 1597/L21 | 1084/L21 | -2917/L1 | | | |
| 170 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 1560/L20 | 1001/L22 | -3365/L1 | | | |
| 175 | MAX | TYPE=RigidZ;RigidGUI; 1492/L20 | 1000/L21 | -3236/L1 | | | |
| 180 | MAX | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; 1745/L20 | 1123/L22 | -3307/L1 | | | |
| 185 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | | | | |

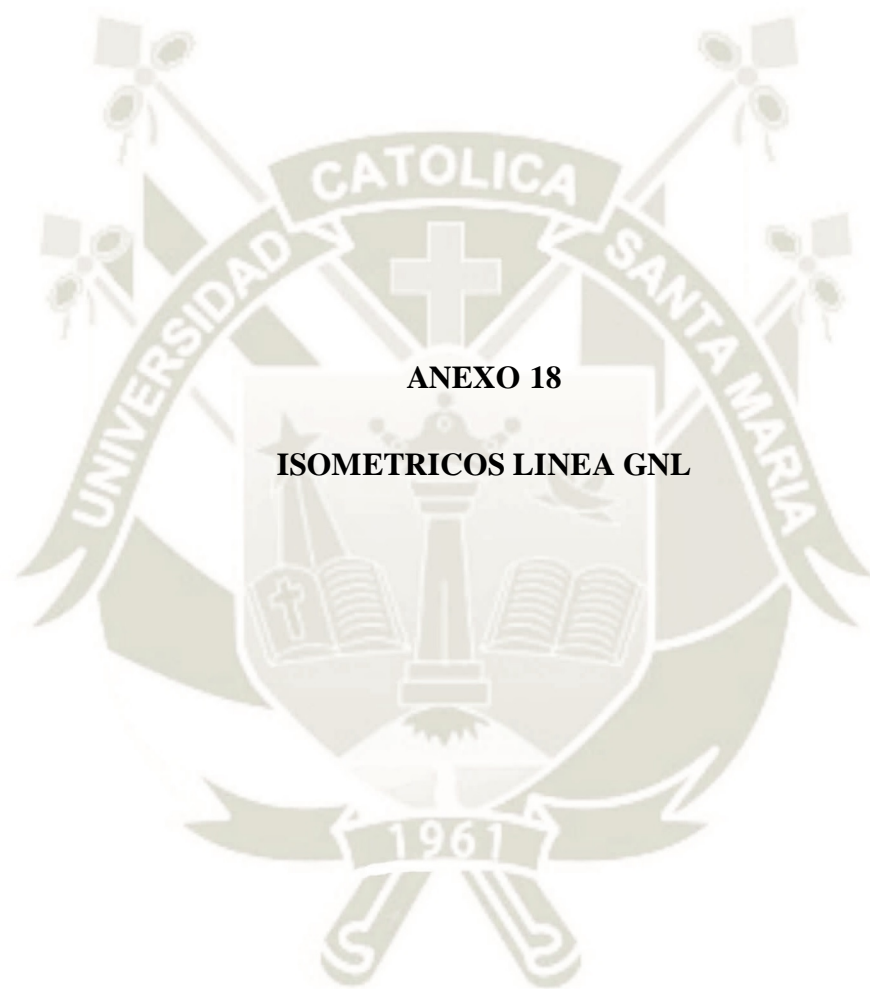
| | | | | |
|-----|-----|--------------------------------------|-----------|-----------|
| 190 | MAX | 367/L2 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 789/L21 | -3150/L1 |
| 220 | MAX | 1229/L2 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 2093/L22 | 4795/L25 |
| 240 | MAX | 4060/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 2031/L22 | -7406/L1 |
| 250 | MAX | 1623/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1496/L21 | -5070/L1 |
| 310 | MAX | 1939/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 3010/L22 | 4340/L20 |
| 325 | MAX | 5539/L26 TYPE=RigidGUI;RigidZ; | 2255/L21 | -3953/L1 |
| 330 | MAX | 1698/L25 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1227/L21 | 3494/L22 |
| 340 | MAX | 1192/L25 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1437/L22 | -3667/L2 |
| 380 | MAX | 2190/L25 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1035/L22 | 6588/L22 |
| 405 | MAX | -4628/L26 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 6416/L22 | -11456/L2 |
| 425 | MAX | 1376/L22 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 4961/L22 | 6454/L22 |
| 430 | MAX | -812/L2 TYPE=RigidGUI;Rigid+Z; | 2184/L22 | 2944/L22 |
| 435 | MAX | -541/L2 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1165/L25 | -2597/L1 |
| 440 | MAX | 1548/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1415/L25 | -3175/L1 |
| 450 | MAX | 1182/L19 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1118/L25 | -2509/L1 |
| 460 | MAX | 1445/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1356/L25 | -3047/L1 |
| 470 | MAX | 1543/L19 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1488/L25 | -3334/L1 |
| 480 | MAX | 936/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1430/L25 | -3214/L1 |
| 490 | MAX | 1290/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1580/L25 | -3425/L1 |
| 505 | MAX | 4165/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1002/L25 | -6693/L2 |
| 640 | MAX | 4223/L26 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1974/L25 | 15048/L26 |
| 670 | MAX | 4459/L26 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | -2952/L26 | -9701/L2 |
| 680 | MAX | 2067/L25 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1123/L25 | 7322/L26 |
| 690 | MAX | 1469/L25 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | -1295/L2 | -4315/L2 |
| 740 | MAX | -10462/L26 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | -533/L2 | -2967/L1 |

| | | | | |
|------|-----|------------------------|-----------|-----------|
| | MAX | 644/L26 | 15103/L21 | -2145/L1 |
| 760 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 10811/L26 | 593/L26 | -2713/L1 |
| 770 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | -2439/L26 | 1618/L22 | -3381/L1 |
| 780 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1431/L25 | 1517/L21 | -3239/L1 |
| 790 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1462/L25 | -772/L2 | -3278/L1 |
| 800 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1453/L25 | -770/L2 | -3266/L1 |
| 810 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1460/L25 | -764/L2 | -3275/L1 |
| 820 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1442/L25 | -788/L2 | -3250/L1 |
| 830 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1509/L25 | -696/L2 | -3341/L1 |
| 840 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1262/L25 | -1044/L2 | 4061/L22 |
| 850 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 2448/L25 | 1196/L22 | 6801/L22 |
| 880 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1367/L20 | 2746/L22 | 8676/L22 |
| 890 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 934/L19 | 698/L22 | 4029/L22 |
| 900 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1031/L20 | 1770/L22 | -3391/L1 |
| 910 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1004/L19 | 1479/L22 | -3237/L1 |
| 920 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1013/L20 | 1555/L22 | -3279/L1 |
| 930 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1006/L19 | 822/L21 | -3263/L1 |
| 940 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1026/L20 | 1544/L21 | -3286/L1 |
| 950 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 953/L19 | 1514/L21 | -3207/L1 |
| 960 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1241/L20 | 1627/L21 | -3503/L1 |
| 970 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1259/L22 | 1202/L21 | -2388/L1 |
| 980 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 2922/L20 | 2118/L21 | -4834/L1 |
| 1000 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 2699/L20 | 2169/L2 | -7231/L2 |
| 1015 | | TYPE=RigidGUI;RigidZ; | | |
| | MAX | 1007/L25 | 4980/L22 | 34164/L26 |
| 1040 | | TYPE=RigidZ;RigidGUI; | | |
| | MAX | 1655/L25 | 4906/L21 | -37525/L2 |
| 1060 | | TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | | |

| | | | | | | | |
|------|-----|------------------------------------|-----------|-----------|----------|---------|---------|
| 1080 | MAX | 1647/L25 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | -13/L1 | -3407/L1 | | | |
| 1090 | MAX | 591/L25 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | -651/L2 | 2950/L22 | | | |
| 1120 | MAX | 2334/L25 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1020/L22 | 5842/L22 | | | |
| 1130 | MAX | 1342/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1555/L2 | 7372/L22 | | | |
| 1140 | MAX | 934/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 329/L22 | 3242/L22 | | | |
| 1150 | MAX | 1030/L19 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 902/L2 | -3396/L1 | | | |
| 1160 | MAX | 1005/L20 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1491/L22 | -3236/L1 | | | |
| 1170 | MAX | 1012/L20 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1551/L22 | -3278/L1 | | | |
| 1180 | MAX | 1010/L19 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1535/L22 | -3267/L1 | | | |
| 1185 | MAX | 1011/L20 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1540/L22 | -3271/L1 | | | |
| 1190 | MAX | 1009/L19 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1277/L21 | -3267/L1 | | | |
| 1195 | MAX | 1017/L20 TYPE=RigidGUI;Rigid+Z; | 1543/L21 | -3279/L1 | | | |
| 1200 | MAX | 993/L19 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1521/L21 | -3234/L1 | | | |
| 1205 | MAX | 1111/L20 TYPE=Rigid+Z;RigidGUI; | 1608/L21 | -3403/L1 | | | |
| 1210 | MAX | 2830/L22 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 1179/L21 | 3444/L22 | | | |
| 1225 | MAX | 4147/L22 TYPE=Rigid+Z; | 723/L22 | 3884/L22 | | | |
| 1235 | MAX | 409/L26 TYPE=Rigid+Z; | -977/L26 | -3197/L2 | | | |
| 1250 | MAX | 361/L21 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 583/L21 | 2894/L21 | | | |
| 1255 | MAX | 2851/L22 TYPE=RigidZ;RigidGUI; | 10085/L21 | 2996/L22 | | | |
| 1270 | MAX | 1915/L22 TYPE=RigidANC; | 5752/L21 | 1794/L22 | | | |
| 2040 | MAX | 2638/L21 TYPE=Rigid+Z; | 1700/L21 | 721/L22 | 2070/L22 | 688/L21 | 629/L21 |
| 6210 | MAX | 482/L19 TYPE=RigidGUI;RigidZ; | 566/L26 | 2084/L20 | | | |
| 6220 | MAX | 8522/L19 TYPE=RigidGUI;Rigid+Z; | 1774/L25 | -15298/L2 | | | |
| 6230 | MAX | 573/L20 TYPE=RigidGUI;RigidZ; | 1527/L25 | -3068/L1 | | | |
| 6240 | MAX | 1816/L20 TYPE=RigidGUI;Rigid+Z; | 1463/L25 | -3316/L1 | | | |

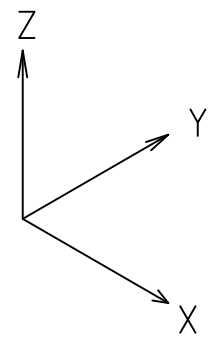
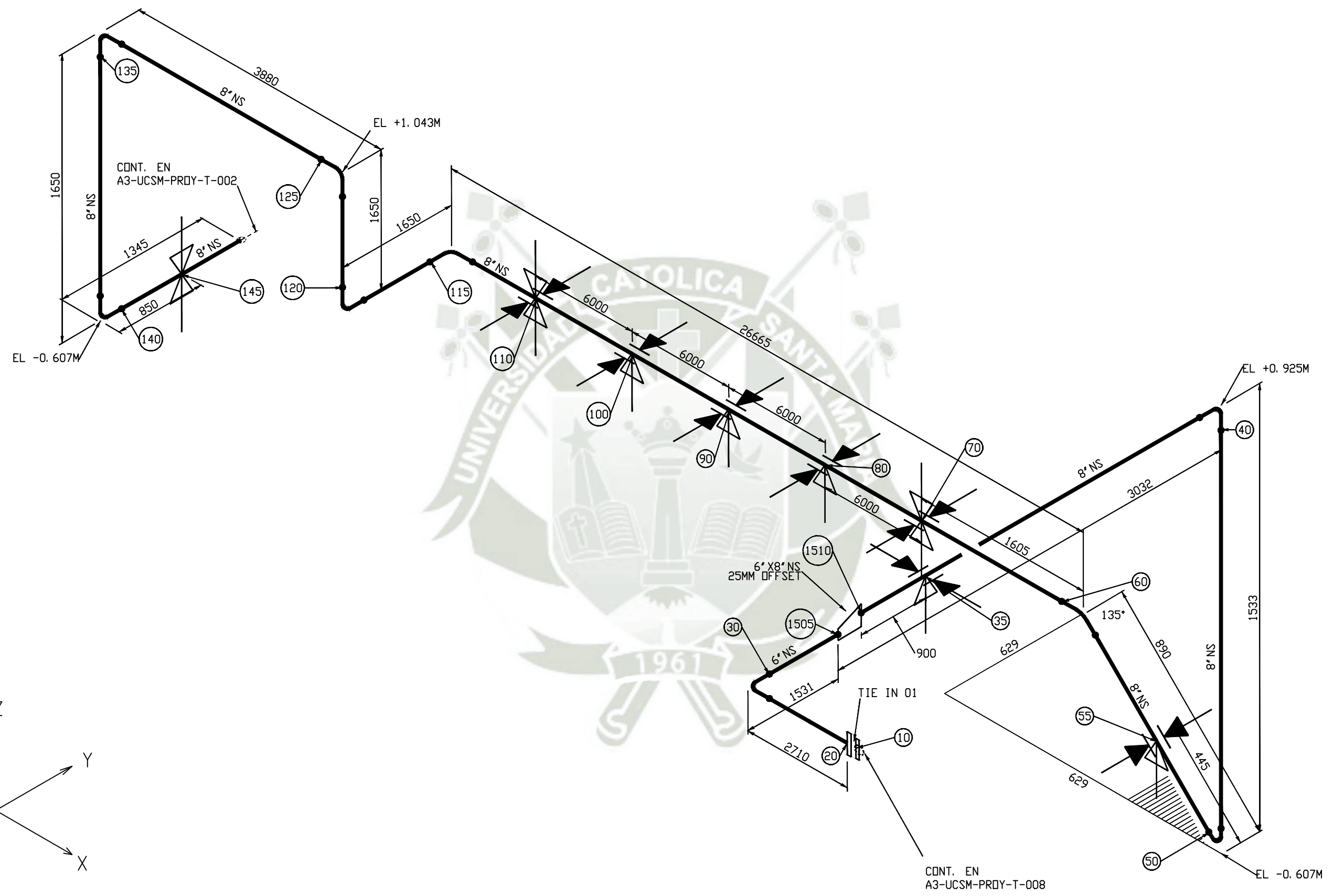
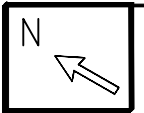
| | | | | |
|------|-----|-----------------------|----------|----------|
| | MAX | 1405/L20 | 1444/L25 | -3282/L1 |
| 6250 | | TYPE=RigidGUI;RigidZ; | | |
| | MAX | 1052/L2 | 1505/L25 | -3904/L1 |
| 6290 | | TYPE=RigidGUI;RigidZ; | | |
| | MAX | 529/L2 | 4097/L26 | -4523/L1 |
| 9850 | | TYPE=Rigid+Z; | | |
| | MAX | -450/L26 | 1356/L21 | -3152/L1 |
| 9950 | | TYPE=Rigid+Z; | | |
| | MAX | -571/L26 | 1127/L21 | -3250/L1 |





ANEXO 18

ISOMETRICOS LINEA GNL



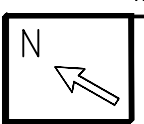
| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL | DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m ³ /h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|---|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO | ISOMETRICO: LÍNEA DE CARGA DE GNL ISOMETRICO N°: A3-UCSM-PROY-T-001 |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS | |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO | |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO | |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 | |

Universidad Católica de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

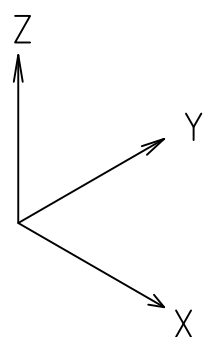
PROYECTO DE TESIS

REV: 0



CONT. EN
A3-UCSM-PROY-T-004

CONT. DE
A3-UCSM-PROY-T-002



| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL | DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m ³ /h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS LINEA DE CARGA DE GNL ISOMETRICO N°: A3-UCSM-PROY-T-003 |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|---|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO | |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS | |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO | |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO | |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 | |

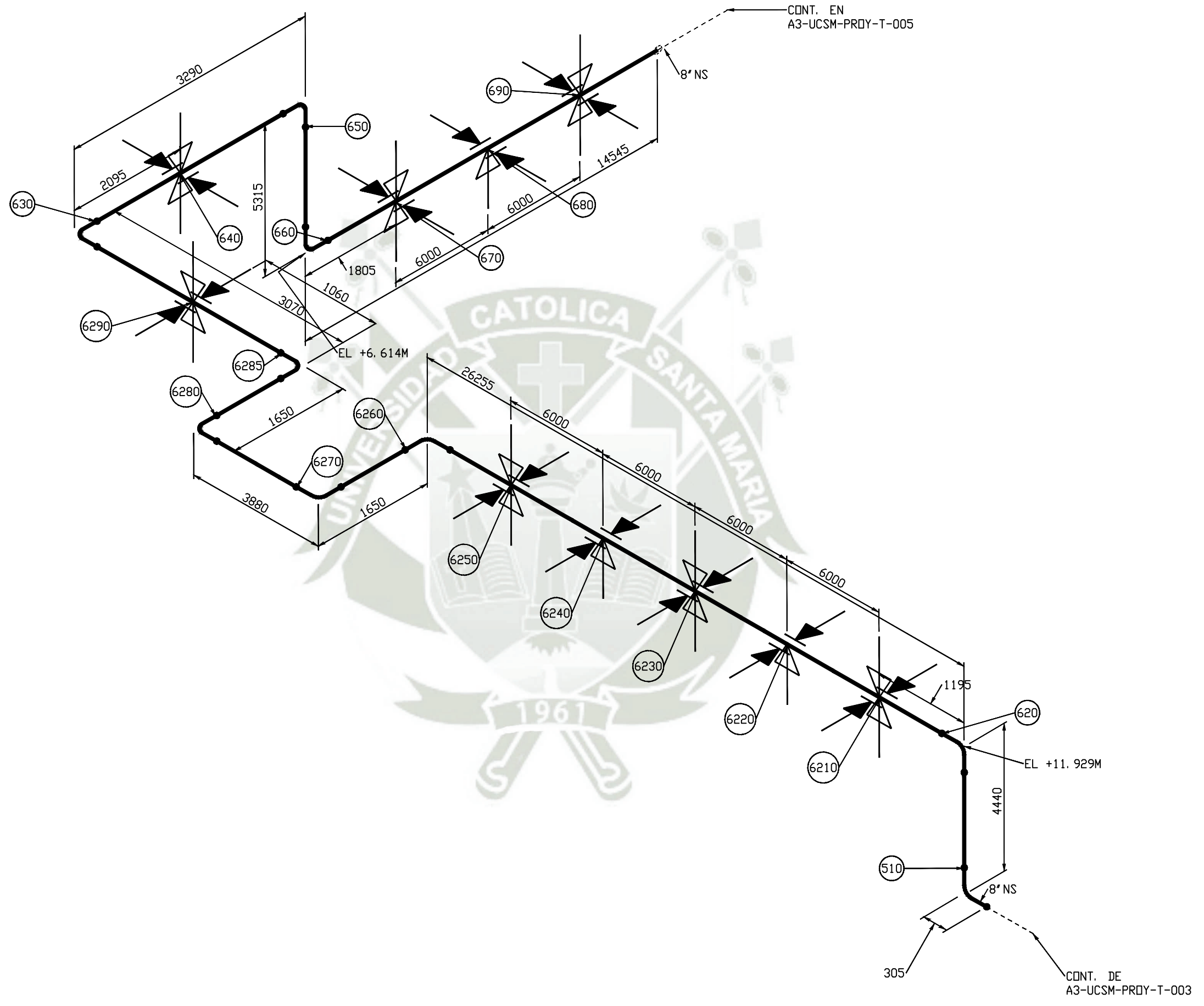
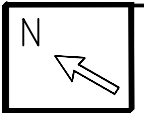


Universidad Católica de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

PROYECTO DE TESIS

REV: 0



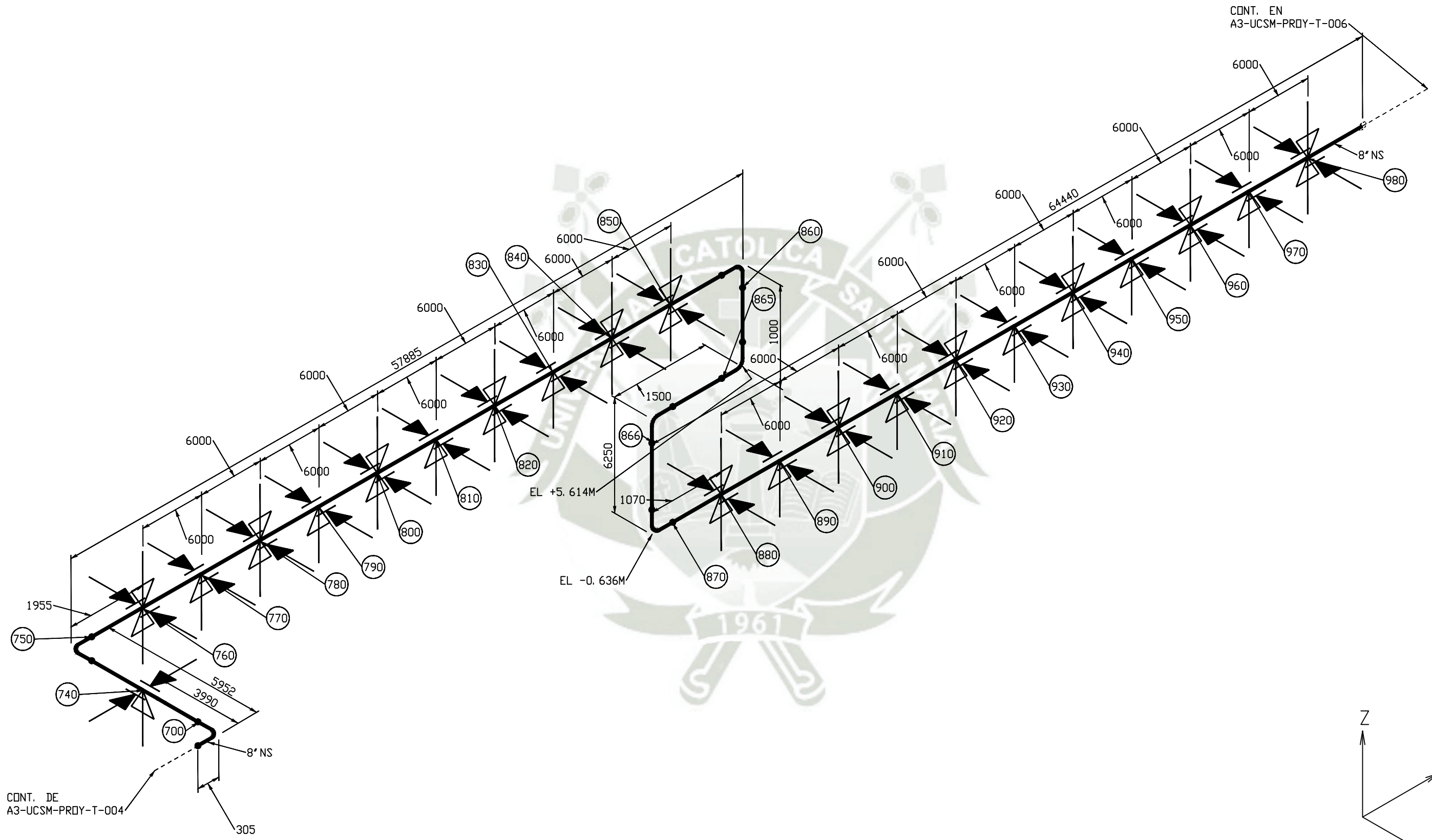
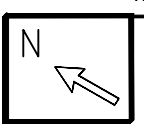
| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 |

DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m³/h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS
 ISOMETRICO:
 LÍNEA DE CARGA DE GNL
 ISOMETRICO N°:
 A3-UCSM-PROY-T-004



Universidad Católica de Santa María
 PROYECTOS & INGENIERIA
 PROYECTO DE TESIS

REV: 0

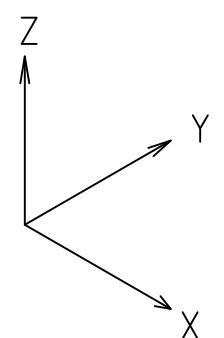
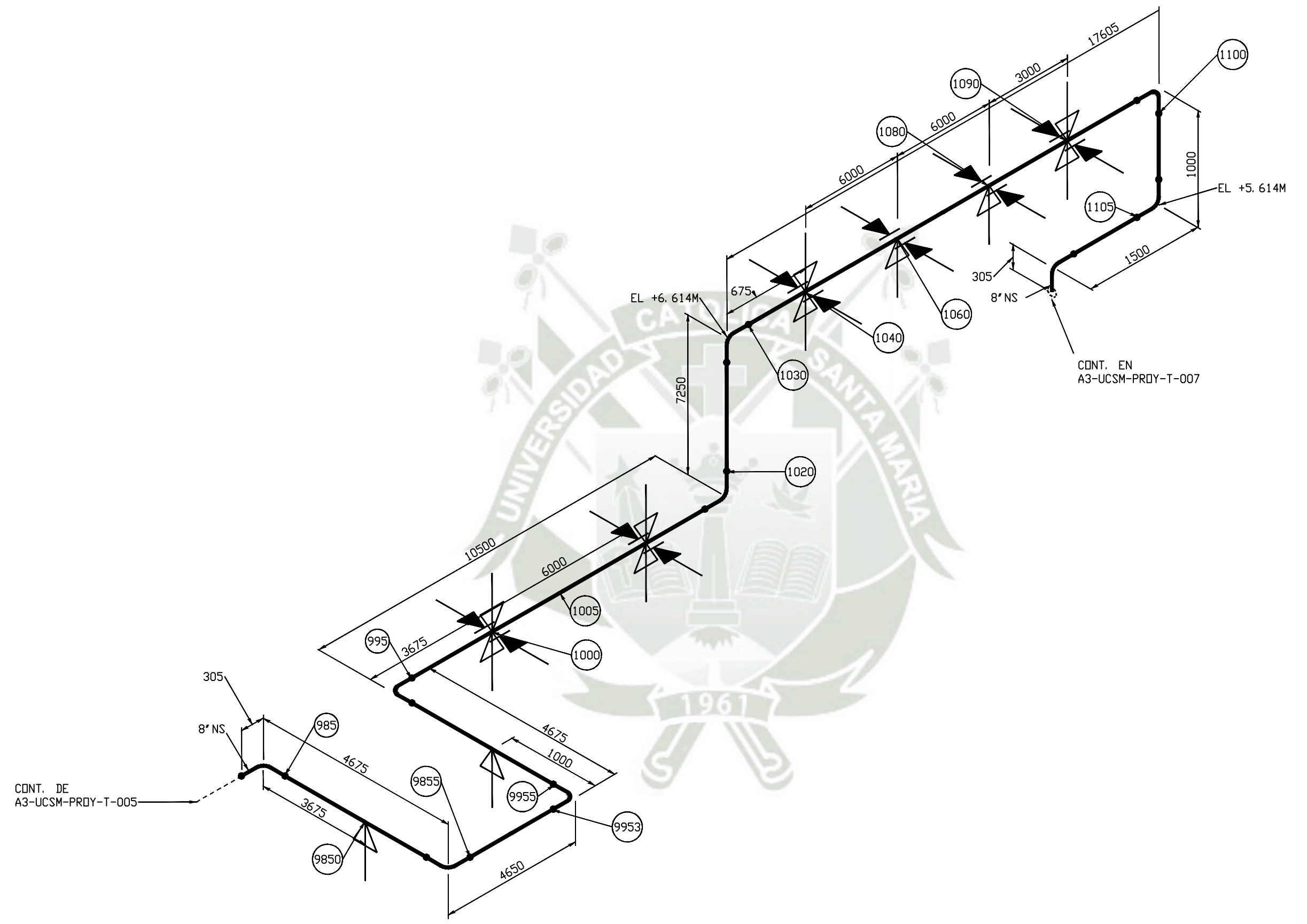
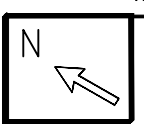


| | |
|---|-----------------------|
| DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m ³ /h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS | |
| ISOMETRICO: | LÍNEA DE CARGA DE GNL |
| ISOMETRICO N°: | A3-UCSM-PROY-T-005 |
| REV: | 0 |

Universidad Católica de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

PROYECTO DE TESIS



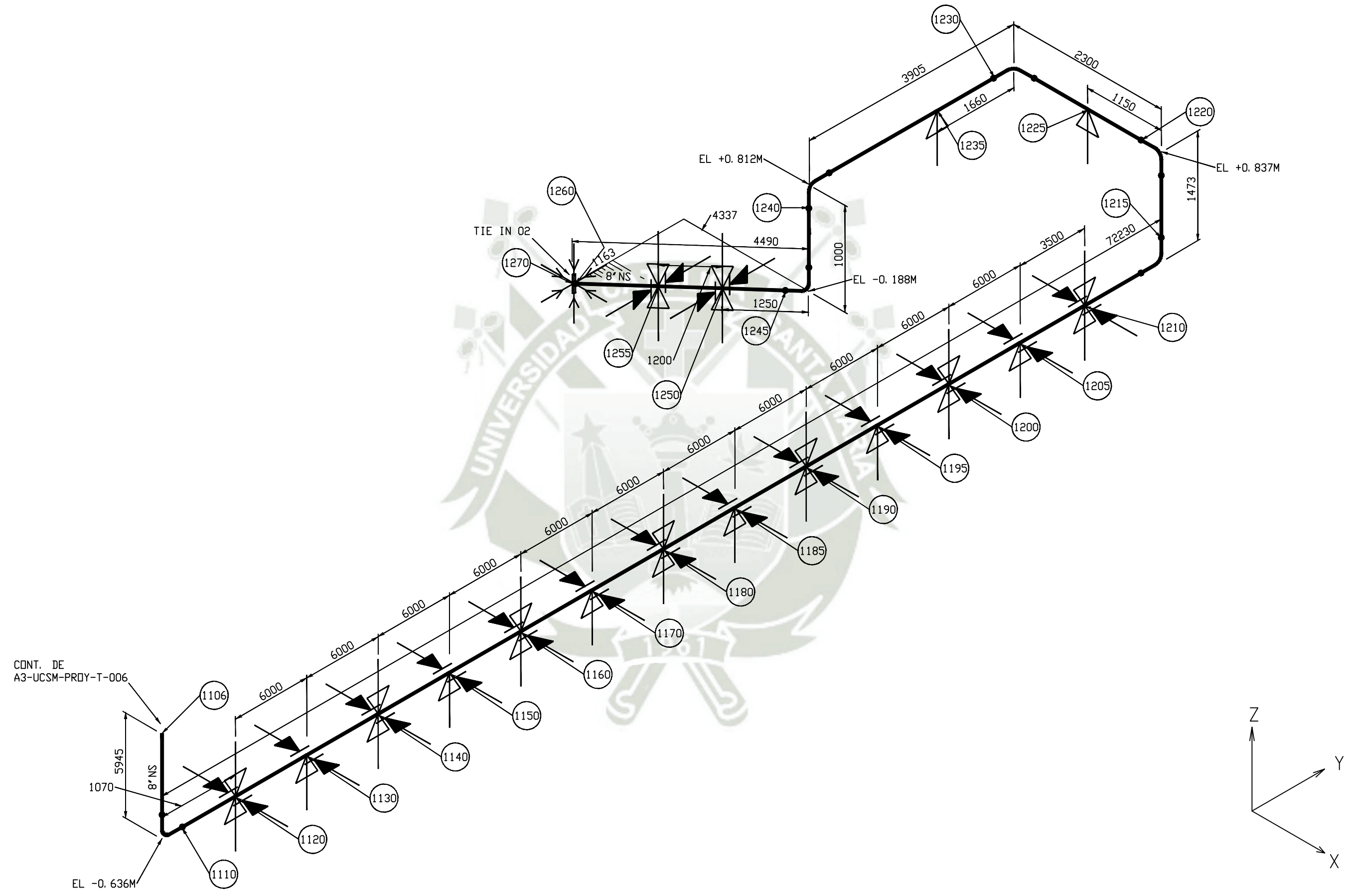
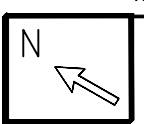
| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL | DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m ³ /h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|---|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO | |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS | |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO | |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO | |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 | |
| | | | | | | | | ISOMETRICO: LINEA DE CARGA DE GNL |
| | | | | | | | | ISOMETRICO N°: A3-UCSM-PROY-T-006 |
| | | | | | | | | REV: 0 |



Universidad Católica de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

PROYECTO DE TESIS



CONT. DE
A3-UCSM-PROY-T-006

| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 |

DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m³/h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS

ISOMETRICO:
LÍNEA DE CARGA DE GNL

ISOMETRICO N°:
A3-UCSM-PROY-T-007

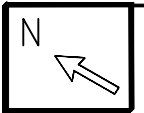
REV: 0



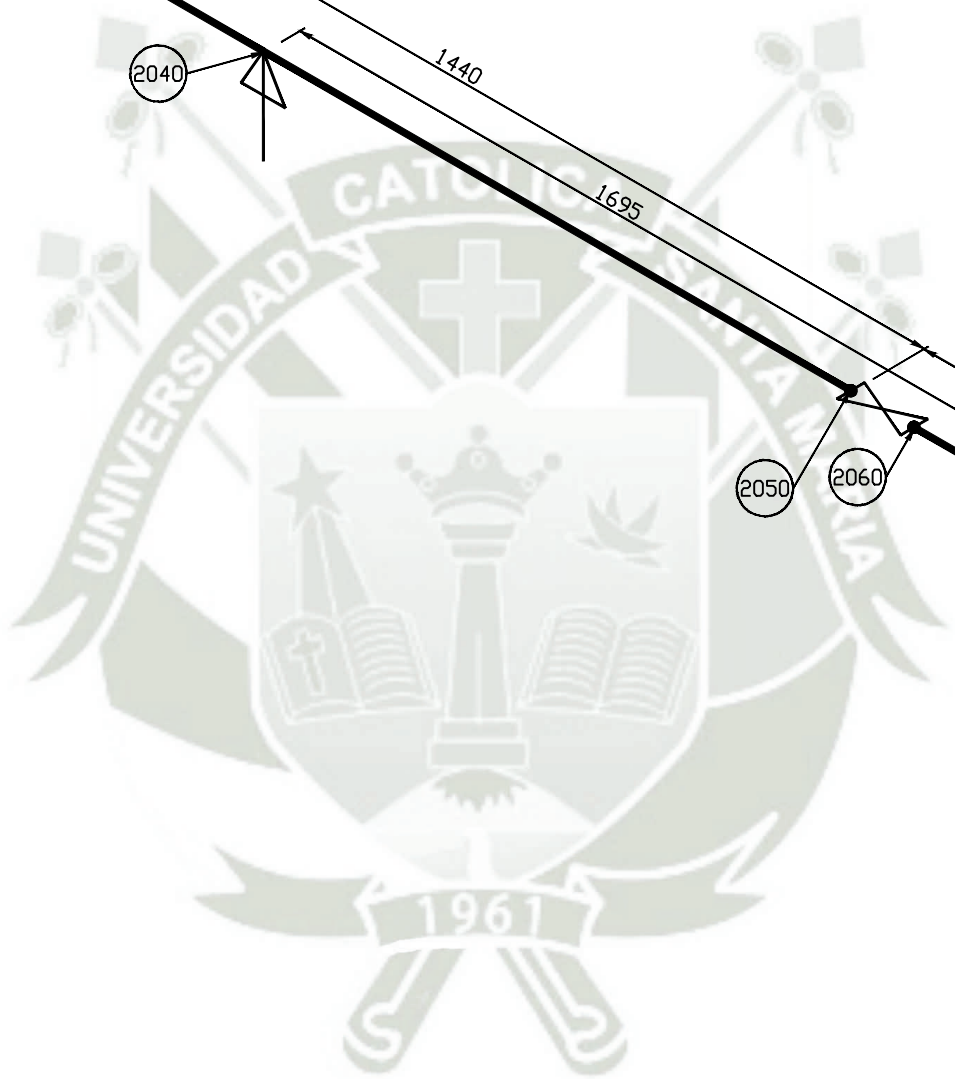
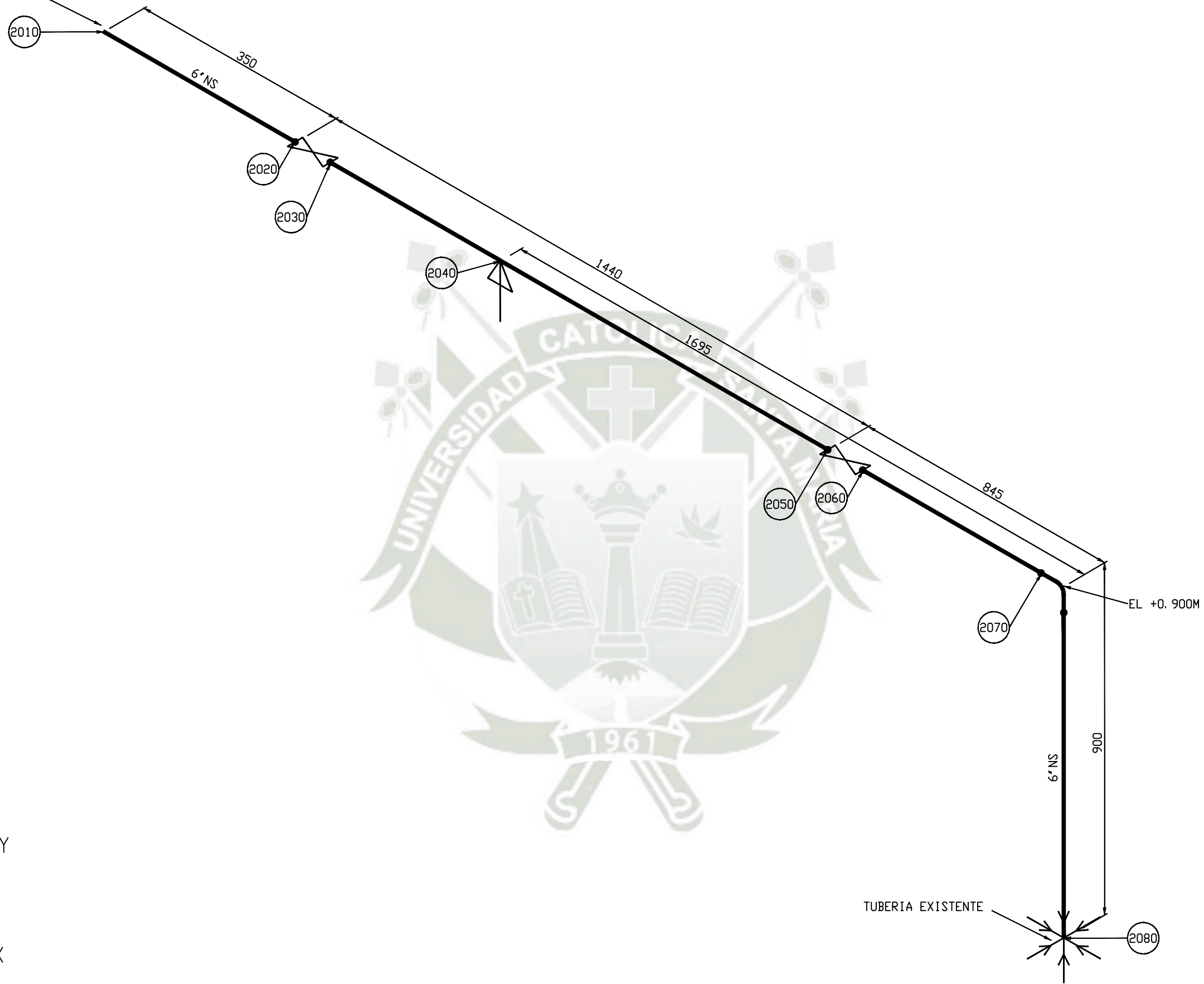
Universidad Católica de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

PROYECTO DE TESIS



CONT. EN
A3-UCSM-PROY-T-001



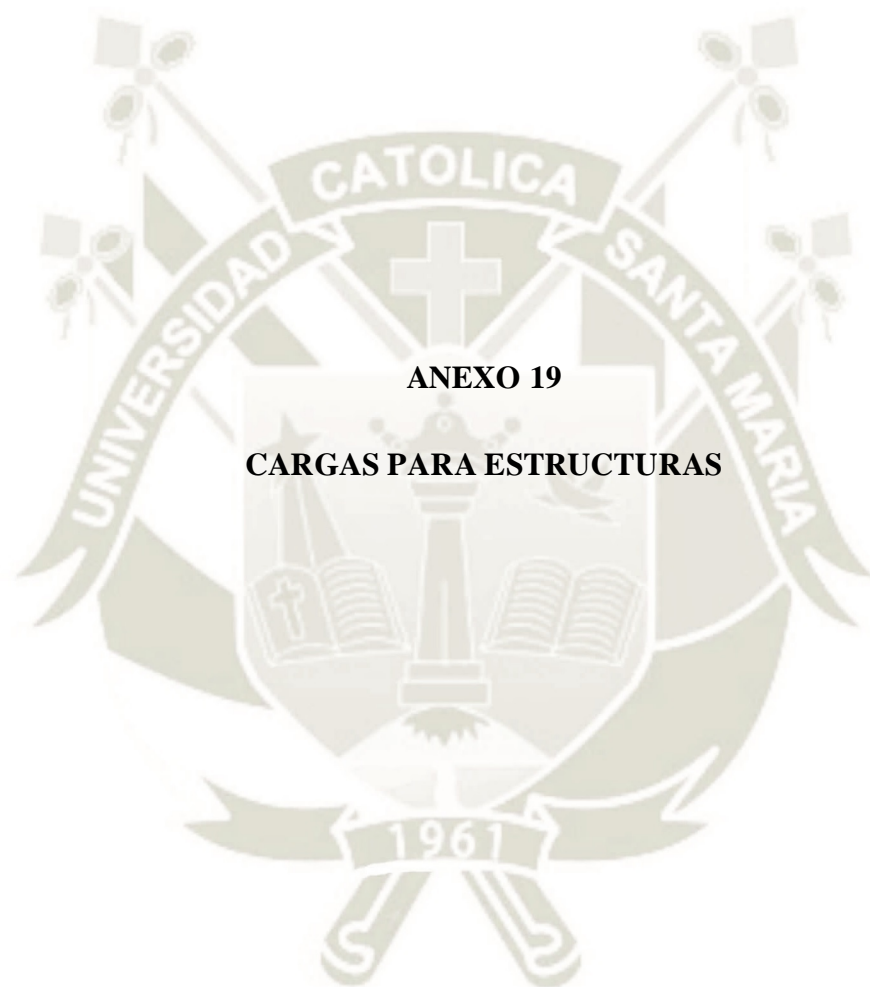
| No. | REVISIONES | No. PLANO REF. | NOMBRE PLANO DE REFERENCIA | MAT. TUBERIA | A312 304L | FLUIDO | GNL | DISEÑO DE LA LÍNEA DE CARGA DE 90 m ³ /h DE GAS NATURAL LICUADO DE UN CARGADERO DE CISTERNAS LINEA DE CARGA DE GNL ISOMETRICO N°: A3-UCSM-PROY-T-008 |
|-----|------------|----------------|----------------------------|------------------|-------------|--------------|------------|---|
| | | | | MAT. AISLAMIENTO | POLIURETANO | SISTEMA | CARGADERO | |
| | | | | ESP. AISLAMIENTO | 114 mm | PROYECTO | TESIS | |
| | | | | PINTURA | - | DISEÑO POR | L.DELGADO | |
| | | | | TEMPERATURA OP. | 160.2 °C | REVISADO POR | J.CASTRO | |
| | | | | PRESION DE OP. | 4.5 BAR | FECHA | 19/09/2018 | |

Universidad Católica
de Santa María

PROYECTOS & INGENIERIA

PROYECTO DE TESIS

REV: 0



CAESAR II 2018 Ver.10.00.00.7700, (Build 170726) Date: SEP 17, 2018 Time: 18:36

Job Name: LINEA GNL FINAL

Licensed To: SPLM: Edit company name in <system>\company.txt

RESTRAINT SUMMARY REPORT: Loads On Restraints

Various Load Cases

LOAD CASE DEFINITION KEY

CASE 1 (HYD) WW+HP

CASE 2 (OPE) W+T1+P1

| Node | Load Case | FX N. | FY N. | FZ N. | MX N.m. | MY N.m. | MZ N.m. |
|------|-----------|---------------------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| 35 | | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -370 | -750 | -3080 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -404 | 1255 | -4184 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -404/L2 | 1255/L2 | -4184/L2 | | | |
| 55 | | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | 537 | 774 | -777 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -6560 | -6560 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -6560/L2 | -6560/L2 | -777/L1 | | | |
| 70 | | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -279 | 5 | -2189 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -105 | 6323 | -352 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -279/L1 | 6323/L2 | -2189/L1 | | | |
| 80 | | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -72 | -11 | -3504 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -276 | -2492 | -3146 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -276/L2 | -2492/L2 | -3504/L1 | | | |
| 90 | | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -19 | 40 | -3178 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 789 | 964 | -2629 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 789/L2 | 964/L2 | -3178/L1 | | | |
| 100 | | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -6 | -151 | -3403 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 515 | -1393 | -1715 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 515/L2 | -1393/L2 | -3403/L1 | | | |
| 110 | | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | |
| | 1(HYD) | -4 | 381 | -3986 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1133 | 1318 | -3775 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1133/L2 | 1318/L2 | -3986/L1 | | | |
| 145 | | TYPE=Rigid Z; | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|----------|---------|----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | -1069 | -114 | -8620 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -2080 | 1035 | -7746 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -2080/L2 | 1035/L2 | -8620/L1 | | | |
| 155 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 794 | -154 | 4041 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -997 | -758 | 3322 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -997/L2 | -758/L2 | 4041/L1 | | | |
| 160 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 206 | 8 | -4592 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -811 | -898 | -2702 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -811/L2 | -898/L2 | -4592/L1 | | | |
| 165 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 54 | -3 | -2917 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 756 | 237 | -2520 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 756/L2 | 237/L2 | -2917/L1 | | | |
| 170 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 15 | 3 | -3365 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 779 | -55 | -2598 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 779/L2 | -55/L2 | -3365/L1 | | | |
| 175 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 6 | -9 | -3236 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 740 | -14 | -2467 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 740/L2 | -14/L2 | -3236/L1 | | | |
| 180 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 11 | 33 | -3307 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 876 | 113 | -2920 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 876/L2 | 113/L2 | -3307/L1 | | | |
| 185 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 41 | -123 | -3150 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 367 | -440 | -1225 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 367/L2 | -440/L2 | -3150/L1 | | | |
| 190 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 157 | 265 | -4153 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1229 | -600 | -4096 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1229/L2 | -600/L2 | -4153/L1 | | | |
| 220 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -151 | -192 | -7406 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -1989 | 978 | -6629 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1989/L2 | 978/L2 | -7406/L1 | | | |
| 240 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|----------|----------|-----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | 107 | -3 | -5070 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 640 | 352 | -2132 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 640/L2 | 352/L2 | -5070/L1 | | | |
| 250 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 463 | 111 | -4304 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1284 | -1102 | -4278 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1284/L2 | -1102/L2 | -4304/L1 | | | |
| 310 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -658 | -58 | -3953 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 5023 | -1037 | -3456 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 5023/L2 | -1037/L2 | -3953/L1 | | | |
| 325 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 21 | -5 | -3477 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -398 | -707 | -2357 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -398/L2 | -707/L2 | -3477/L1 | | | |
| 330 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 54 | 39 | -3016 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 561 | 451 | -3667 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 561/L2 | 451/L2 | -3667/L2 | | | |
| 340 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -138 | 166 | -4557 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -1840 | 886 | 2954 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1840/L2 | 886/L2 | -4557/L1 | | | |
| 380 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 1519 | -519 | -6715 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -3437 | 2497 | -11456 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -3437/L2 | 2497/L2 | -11456/L2 | | | |
| 405 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -753 | 353 | 2512 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -1065 | -2157 | 3551 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1065/L2 | -2157/L2 | 3551/L2 | | | |
| 425 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -434 | -74 | -2042 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -812 | 877 | -2708 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -812/L2 | 877/L2 | -2708/L2 | | | |
| 430 | TYPE=Rigid GUI; Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -178 | 16 | -2597 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -541 | -185 | -1802 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -541/L2 | -185/L2 | -2597/L1 | | | |
| 435 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|---------|----------|----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | -45 | -2 | -3175 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -756 | 22 | -2519 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -756/L2 | 22/L2 | -3175/L1 | | | |
| 440 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -13 | 1 | -2509 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -586 | -7 | -1955 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -586/L2 | -7/L2 | -2509/L1 | | | |
| 450 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -4 | -1 | -3047 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -721 | 1 | -2402 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -721/L2 | 1/L2 | -3047/L1 | | | |
| 460 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -1 | 2 | -3334 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -773 | 1 | -2575 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -773/L2 | 2/L1 | -3334/L1 | | | |
| 470 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -1 | -9 | -3214 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -124 | -7 | -2664 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -124/L2 | -9/L1 | -3214/L1 | | | |
| 480 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -2 | 33 | -3425 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 644 | 26 | -2148 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 644/L2 | 33/L1 | -3425/L1 | | | |
| 490 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -16 | -296 | -2324 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 2078 | -232 | -6693 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 2078/L2 | -296/L1 | -6693/L2 | | | |
| 505 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -55 | 569 | -2003 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 4180 | 455 | 13478 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 4180/L2 | 569/L1 | 13478/L2 | | | |
| 640 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -238 | 53 | -2933 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 4272 | -2910 | -9701 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 4272/L2 | -2910/L2 | -9701/L2 | | | |
| 670 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 242 | -34 | -3240 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -61 | 406 | 4781 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 242/L1 | 406/L2 | 4781/L2 | | | |
| 680 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|-----------|----------|----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | -100 | -9 | -3347 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 771 | -1295 | -4315 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 771/L2 | -1295/L2 | -4315/L2 | | | |
| 690 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 65 | -4 | -2967 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -10411 | -533 | -1778 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -10411/L2 | -533/L2 | -2967/L1 | | | |
| 740 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -42 | 2 | -2145 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 611 | 6219 | -2037 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 611/L2 | 6219/L2 | -2145/L1 | | | |
| 760 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | -1 | -2713 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 10811 | 592 | -1974 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 10811/L2 | 592/L2 | -2713/L1 | | | |
| 770 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3381 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -2438 | 809 | -2697 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -2438/L2 | 809/L2 | -3381/L1 | | | |
| 780 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3239 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 648 | -759 | -2528 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 648/L2 | -759/L2 | -3239/L1 | | | |
| 790 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3278 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -172 | -772 | -2572 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -172/L2 | -772/L2 | -3278/L1 | | | |
| 800 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3266 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 46 | -770 | -2566 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 46/L2 | -770/L2 | -3266/L1 | | | |
| 810 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3275 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -12 | -764 | -2547 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -12/L2 | -764/L2 | -3275/L1 | | | |
| 820 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | -1 | -3250 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 3 | -788 | -2628 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 3/L2 | -788/L2 | -3250/L1 | | | |
| 830 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|---------------------------|--------|----------|----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | -1 | -5 | -3341 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -2 | -696 | -2320 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -2/L2 | -696/L2 | -3341/L1 | | | |
| 840 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 4 | -20 | -3000 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 3 | -1044 | -3479 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 4/L1 | -1044/L2 | -3479/L2 | | | |
| 850 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -16 | -76 | -3844 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -11 | -620 | -2068 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -16/L1 | -620/L2 | -3844/L1 | | | |
| 880 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 13 | 76 | -6116 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 9 | 1925 | -6417 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 13/L1 | 1925/L2 | -6417/L2 | | | |
| 890 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -1 | 20 | -2811 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 67 | -224 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1/L1 | 67/L2 | -2811/L1 | | | |
| 900 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 5 | -3391 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 955 | -3185 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 0/L1 | 955/L2 | -3391/L1 | | | |
| 910 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 1 | -3237 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 719 | -2398 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 0/L2 | 719/L2 | -3237/L1 | | | |
| 920 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3279 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -1 | 782 | -2608 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1/L2 | 782/L2 | -3279/L1 | | | |
| 930 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3263 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 2 | -49 | -2549 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 2/L2 | -49/L2 | -3263/L1 | | | |
| 940 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3286 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -7 | -773 | -2577 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -7/L2 | -773/L2 | -3286/L1 | | | |
| 950 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------|---------------------------|---------|----------|-----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3207 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 28 | -757 | -2523 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 28/L2 | -757/L2 | -3207/L1 | | | |
| 960 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3503 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -105 | -814 | -2712 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -105/L2 | -814/L2 | -3503/L1 | | | |
| 970 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -2388 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 394 | -601 | -2005 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 394/L2 | -601/L2 | -2388/L1 | | | |
| 980 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -4834 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 487 | -1058 | -3527 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 487/L2 | -1058/L2 | -4834/L1 | | | |
| 1000 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -1 | 8 | -4782 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -157 | 2169 | -7231 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -157/L2 | 2169/L2 | -7231/L2 | | | |
| 1015 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 50 | 26 | -2019 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 304 | -1114 | 32582 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 304/L2 | -1114/L2 | 32582/L2 | | | |
| 1040 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -64 | -27 | -5190 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 49 | 383 | -37525 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -64/L1 | 383/L2 | -37525/L2 | | | |
| 1060 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 19 | -13 | -3407 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -33/L2 | -13/L1 | -3407/L1 | | | |
| 1080 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -7 | -26 | -1733 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 2 | -651 | -2171 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -7/L1 | -651/L2 | -2171/L2 | | | |
| 1090 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 4 | -59 | -3312 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 20 | -799 | -2665 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 20/L2 | -799/L2 | -3312/L1 | | | |
| 1120 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------|---------------------------|--------|---------|----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | -1 | 68 | -6196 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -16 | 1555 | -5185 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -16/L2 | 1555/L2 | -6196/L1 | | | |
| 1130 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 18 | -2793 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1 | 269 | -896 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1/L2 | 269/L2 | -2793/L1 | | | |
| 1140 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 5 | -3396 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 902 | -3006 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -0/L2 | 902/L2 | -3396/L1 | | | |
| 1150 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 1 | -3236 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 734 | -2446 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 0/L2 | 734/L2 | -3236/L1 | | | |
| 1160 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3278 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 778 | -2595 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 0/L2 | 778/L2 | -3278/L1 | | | |
| 1170 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3267 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 767 | -2555 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -0/L2 | 767/L2 | -3267/L1 | | | |
| 1180 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3271 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1 | 770 | -2567 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1/L2 | 770/L2 | -3271/L1 | | | |
| 1185 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3267 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -5 | -509 | -2560 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -5/L2 | -509/L2 | -3267/L1 | | | |
| 1190 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -1 | 0 | -3279 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 20 | -773 | -2576 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 20/L2 | -773/L2 | -3279/L1 | | | |
| 1195 | TYPE=Rigid GUI; Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 3 | -1 | -3234 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -75 | -755 | -2516 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -75/L2 | -755/L2 | -3234/L1 | | | |
| 1200 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------|---------------------------|----------|----------|----------|---------|--------|----------|
| | 1(HYD) | -11 | -3 | -3403 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 282 | -823 | -2744 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 282/L2 | -823/L2 | -3403/L1 | | | |
| 1205 | TYPE=Rigid +Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 83 | -12 | -2551 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -2056 | -435 | -1448 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -2056/L2 | -435/L2 | -2551/L1 | | | |
| 1210 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -236 | -33 | -1978 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 2238 | -404 | -1346 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 2238/L2 | -404/L2 | -1978/L1 | | | |
| 1225 | TYPE=Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -6 | 130 | -1976 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 396 | -873 | -3197 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 396/L2 | -873/L2 | -3197/L2 | | | |
| 1235 | TYPE=Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 302 | -41 | -1263 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 302/L1 | -41/L1 | -1263/L1 | | | |
| 1250 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -79 | 9 | -1936 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1322 | -6234 | -1124 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1322/L2 | -6234/L2 | -1936/L1 | | | |
| 1255 | TYPE=Rigid Z; Rigid GUI; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -22 | -45 | 359 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -1185 | 4007 | -358 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -1185/L2 | 4007/L2 | 359/L1 | | | |
| 1270 | TYPE=Rigid ANC; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -33 | -4 | -597 | -42 | 240 | 4 |
| | 2(OPE) | -922 | -814 | -441 | 1221 | 480 | -391 |
| | MAX | -922/L2 | -814/L2 | -597/L1 | 1221/L2 | 480/L2 | -391/L2 |
| 2040 | TYPE=Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 364 | -104 | -2023 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 300 | 479 | -1882 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 364/L1 | 479/L2 | -2023/L1 | | | |
| 2080 | TYPE=Rigid ANC; | | | | | | |
| | 1(HYD) | -154 | 76 | 46 | 77 | -70 | -73 |
| | 2(OPE) | -298 | 243 | 211 | -70 | 94 | -1309 |
| | MAX | -298/L2 | 243/L2 | 211/L2 | 77/L1 | 94/L2 | -1309/L2 |
| 6210 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------|---------------------------|----------|----------|-----------|---|---|---|
| | 1(HYD) | 54 | -342 | -4527 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -4589 | -272 | -15298 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -4589/L2 | -342/L1 | -15298/L2 | | | |
| 6220 | TYPE=Rigid GUI; Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 14 | 55 | -3068 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 285 | -16 | -950 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 285/L2 | 55/L1 | -3068/L1 | | | |
| 6230 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 4 | -15 | -3316 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 905 | 255 | -3018 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 905/L2 | 255/L2 | -3316/L1 | | | |
| 6240 | TYPE=Rigid GUI; Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 1 | 4 | -3282 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 704 | -1010 | -2346 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 704/L2 | -1010/L2 | -3282/L1 | | | |
| 6250 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 1 | -1 | -3904 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 1052 | 924 | -3506 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 1052/L2 | 924/L2 | -3904/L1 | | | |
| 6290 | TYPE=Rigid GUI; Rigid Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 72 | -7 | -4523 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | 529 | 4091 | -1763 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | 529/L2 | 4091/L2 | -4523/L1 | | | |
| 9850 | TYPE=Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3152 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -450 | -607 | -2519 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -450/L2 | -607/L2 | -3152/L1 | | | |
| 9950 | TYPE=Rigid +Z; | | | | | | |
| | 1(HYD) | 0 | 0 | -3250 | 0 | 0 | 0 |
| | 2(OPE) | -571 | -426 | -2375 | 0 | 0 | 0 |
| | MAX | -571/L2 | -426/L2 | -3250/L1 | | | |