

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS6  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DE JUNTAS DE EXPANSIÓN POR  
LAZOS DE EXPANSIÓN EN LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA  
DE RESIDUAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO  
ATMOSFÉRICO 250X4, 250X5 Y 250X6 DE LA REFINERÍA PUERTO  
LA CRUZ”.**

**REALIZADO POR:  
Br. Paola Andrea Gámez Sánchez**

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para Optar por el Título de:

**INGENIERO MECÁNICO.**

**Puerto la Cruz, febrero 2025**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DE JUNTAS DE EXPANSIÓN POR LAZOS DE EXPANSIÓN EN LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE RESIDUAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO 250X4, 250X5 Y 250X6 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”.**

**ASESORES:**

---

**Prof. Carlos Gomes**

Tutor Académico

---

**Ing. Duvai Gámez**

Tutor Industrial

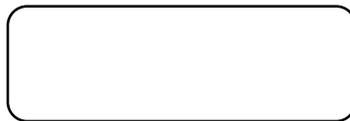
**Puerto la Cruz, febrero 2025**

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA



**“PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DE JUNTA DE EXPANSIÓN POR LAZO DE EXPANSIÓN EN LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE RESIDUAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO 250X4, 250X5 Y 250X6 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”.**

El jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:



**Prof. Carlos Gomes**

Asesor Académico

---

**Prof. Argenis Bonilla**

Jurado Principal

---

**Prof. Francisco García**

Jurado Principal

**Puerto la Cruz, febrero 2025**

## RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajo de grado:

*“Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario, para su autorización”.*



## **AGRADECIMIENTOS**

- Agradezco de todo corazón a Dios, por su inmensa protección, sabiduría y paciencia que me han guiado en este camino hacia mi meta. Su fe inquebrantable me ha dado la fortaleza necesaria para superar cada obstáculo y alcanzar este importante logro en mi vida.
- A mis queridos padres, les debo todo mi agradecimiento por su apoyo incondicional y sus constantes palabras de aliento que me han impulsado a perseverar en la búsqueda de mis sueños. Son mi mayor tesoro y el motor que impulsa mi éxito.
- A mis hermanos Duvai y Daniel, les agradezco por estar a mi lado en cada paso de este emocionante viaje y por llenarme de ánimo y alegría cuando más lo necesitaba.
- Al profesor Carlos Gomes, mi guía y mentor en este proceso, le estoy profundamente agradecida por su apoyo constante y su invaluable orientación como mi tutor académico. Su respaldo incondicional ha sido fundamental en mi camino hacia el éxito.
- A mis respetados profesores Christopher Díaz, Francisco García, Félix Payares, Richard Estaba y Marcos Muñoz, les agradezco de todo corazón por compartir su conocimiento y por cada palabra de aliento que me han brindado. Gracias por la oportunidad de aprender de ustedes, ha sido un verdadero privilegio que atesoraré por siempre.
- A la profesora María Figueroa, su inspiración y aliento han sido un faro de luz en mi camino. Que Dios la tenga en su gloria por ser una fuente de motivación inigualable.
- A mis compañeros de clases, María Moreno, Víctor Castro, Eglee Ramírez, Lucía Ramos y Rigoberto González, les agradezco de todo corazón por ser más que amigos, por convertirse en compañeros de vida en este largo viaje hacia el éxito. Su amistad y apoyo han sido un regalo invaluable.

- A mis amigos incondicionales, Carlos Guzmán y Carlos Guaina, les agradezco por estar siempre presentes, por ser mis hermanos de corazón y por brindarme su inquebrantable amistad en todo momento.
- Al personal de Ingeniería de Instalaciones, Técnica, Planificación, Infraestructura y Mantenimiento en PDVSA, mi más sincero agradecimiento por su colaboración y apoyo en la realización de este trabajo de investigación. A Mauricio Aguerri, Adrián Martínez, Lucimar Arvelo, Rosangel González, José Daniel Rodríguez y Eduardo Calderón, les estoy eternamente agradecido por su invaluable contribución. Por su apoyo, son muy especiales para mí. Gracias por ser mis guías y mis motivadores.
- A mis estimados ingenieros Darlin y Robinson, mis mentores y guías en esta travesía, les envío todo mi amor y gratitud. Su sabiduría y apoyo han sido fundamentales en mi crecimiento profesional y personal.
- A la familia Pérez Yaselli, les expreso mi profundo agradecimiento por su apoyo y aliento a lo largo de este viaje. En especial a la Sra. Carmen y a Boris, les envío mis más sinceros deseos de felicidad, salud y prosperidad. Que Dios les colme de bendiciones. ¡Infinitas gracias por todo!
- A mis amigas: Carla, Karen y Daniela. Mil gracias por su compañía, su apoyo, su amistad, son especiales y agradezco a la Universidad de Oriente por darme el privilegio de colocarlas en mi camino, Dios las bendiga plenamente.
- A la empresa Servicios y Suministros FM, C.A y Arda Proyectos y Construcciones C.A., mi profundo agradecimiento por creer en mí y por brindarme la oportunidad de demostrar mi potencial como profesional. Les estaré siempre agradecida por su confianza y respaldo.
- A mis queridos compañeros de ARDA P&C, Rosanny China, Enzo Vallejo, Alfredo Mota, Héctor Yeguez. Jesús Franco, Simón Millán y Carlos Rodríguez, les envío todo mi amor y gratitud. ¡Gracias por su apoyo!

- A los ingenieros Aditya Toke de la India y Pedro Choque de Bolivia, les agradezco infinitamente su apoyo y contribución en mi trabajo de grado. Gracias por las asesorías y demostrarme que la ingeniería traspasa fronteras y enriquece a todos aquellos que tienen sed de aprender.
- A mi querida madrina, Gloria Soto, le envío todo mi amor y gratitud. Sus consejos y apoyo han sido fundamentales en mi crecimiento profesional y personal. ¡Gracias por su apoyo!

## **DEDICATORIA**

Este grado representa uno de los logros más importante que he alcanzado hasta el momento, y está dedicado a aquellas personas que, con su apoyo incondicional, han hecho posible la realización de este sueño:

- A Dios, por su amor incondicional. A Él, sea la gloria y la honra.
- A mi abuela, Georgina, quien ahora está en el cielo y no pudo presenciar la materialización de este sueño. Te llevo en el corazón, y este logro es en tu honor.
- A mis padres, por motivarme constantemente y nunca permitirme rendirme. Este logro es también para ustedes, que sea una corona que los enorgullezca siempre.
- A mis hermanos queridos, Daniel y Duvai, mis pilares en la vida. Les dedico este logro, que también les pertenece.
- A mis compañeros peludos, mis apoyos emocionales. Les dedico este logro, Baloo, Pancho, Amora y Molly Sofía.

A todos aquellos que vienen atrás de mí, les digo: no se rindan. Luchen y sueñen en grande.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado propone mejoras para las líneas de succión y descarga de residuos de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6 de la Refinería Puerto la Cruz. Utilizando el software de flexibilidad en tuberías CAESAR II, se modelaron las líneas y se recopiló

información sobre diámetros, espesores, longitudes y materiales de las tuberías y accesorios, así como la ubicación y tipos de soportes, a partir de mediciones y levantamientos en campo, junto con las condiciones de operación y diseño establecidas. Se analizaron los esfuerzos en el sistema, considerando las cargas sostenidas, expansiones térmicas y cargas operacionales. Se identificaron discrepancias entre los isométricos suministrados por la empresa y las características actuales de las líneas estudiadas, ya que no contaban con las juntas de expansión del modelo original. Posteriormente, se realizó un análisis estático de flexibilidad, donde se incorporaron los lazos de expansión, demostrando que cumplen con las cargas permisibles y los límites de esfuerzos establecidos en las normativas pertinentes. Se incorporaron nuevos soportes, asegurando que los esfuerzos de las tuberías fueran permisibles según la norma ASME B31.3. Se concluye que la propuesta cumple con los criterios requeridos y es una alternativa viable para reactivar las líneas de succión y descarga. Para finalizar, se actualizaron los planos isométricos con la incorporación de las mejoras.

## CONTENIDO

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>viii</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLA DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>CAPITULO I</b> .....	<b>20</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>20</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	20
1.2 Objetivos.....	22
1.3 Generalidades de la empresa.....	22
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>25</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>25</b>
2.1 Antecedentes.....	25
2.2 Fundamentos teóricas .....	27
2.3 Nomograma .....	31
2.4 CAESAR II .....	33
2.5 Condiciones de trabajo según código ASME B-31.3 .....	42
2.6 Análisis de esfuerzos.....	44
2.7 Tipo de análisis (categorías de tuberías).....	53
2.8 Localización inicial de soportes .....	55
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>57</b>

<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>57</b>
3.1. Tipo de investigación.....	57
3.2 Técnicas a utilizar.....	57
3.3 Equipos, materiales, sustancias y herramientas.....	58
3.4 Procedimiento metodológico.....	59
3.5 Dimensionamiento del lazo de expansión.....	62
3.6 Modelo tridimensional de las líneas de succión y descarga.....	62
3.6.3 Análisis estático del sistema.....	64
3.7. Incorporación de las mejoras a los planos isométricos.....	66
<b>CAPITULO IV. ANALISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
4.1 Descripción del sistema.....	68
4.2 Situación operacional actual de las líneas de succión y descarga de residual.....	71
4.2 Medición de espesores en los cabezales.....	72
4.3 Identificación de las líneas de succión y descarga de residual.....	74
4.4 Modelo tridimensional de las líneas de succión y descarga.....	75
4.4.1 Evaluación de esfuerzos del sistema original.....	77
4.5 Dimensionamiento del lazo de expansión.....	82
4.6 Evaluación de esfuerzos de la propuesta de mejora.....	85
<b>CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
5.1. Conclusiones:.....	97
5.2 Recomendaciones:.....	98
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>100</b>
Bibliografía Citadas:.....	100
Bibliografía Adicional:.....	101

<b>APENDICES.....</b>	<b>102</b>
<b>APÉNDICE A- REGISTROS FOTOGRÁFICOS.....</b>	<b>102</b>
<b>APÉNDICE B – ISOMÉTRICOS DEL DISEÑO ORIGINAL. ....</b>	<b>108</b>
<b>APENDICE C – ISOMÉTRICOS CON LAS MEJORAS INCORPORADAS. .....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>138</b>
ANEXO A. CÁLCULO DE EXPANSIÓN TÉRMICA PARA LAZO DE EXPANSIÓN DE 34 PULGADAS DE LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA. ....	138
ANEXO B - TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO UTILIZADAS EN LA MEDICIÓN DE ESPESORES. ....	139
ANEXO C. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEJORA PARA LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA, INCORPORACIÓN DEL LAZO DE EXPANSIÓN. ....	142
Anexo C. Memoria Descriptiva. ....	142
ANEXO D. LISTA DE MATERIALES PARA LA INCORPORACION DEL LAZO DE EXPANSION EN LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA. .....	146
ANEXO E. COMPUTOS METRICOS PROPUESTOS PARA LA INCORPORACION DEL LAZO DE EXPANSION EN LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA DE RESIDUAL.....	148
<b>METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO ....</b>	<b>152</b>

## TABLA DE FIGURAS

	<b>PÁG.</b>
<b>Figura 1.1.</b> Ubicación geográfica del Centro de Ejecución Oriente de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) [1].....	<b>23</b>
<b>Figura 1.2.</b> Ubicación geográfica del área de Patio de Tanques de Almacenaje, Refinería Puerto la Cruz (RPLC) [2].....	<b>24</b>
<b>Figura 2.1</b> Lazos de expansión 2D [6].....	<b>29</b>
<b>Figura 2.2</b> Idealización de lazo tridimensional [Fuente: Elaboración propia]. .....	<b>30</b>
<b>Figura 2.3</b> Grafica de nomograma para calcular el dimensionamiento del lazo de expansión [7]. .....	<b>32</b>
<b>Figura 2.4</b> Menú principal [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>33</b>
<b>Figura 2.5</b> Nuevo trabajo [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>34</b>
<b>Figura 2.6</b> Configuración del programa [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>34</b>
<b>Figura 2.7.</b> Código ASME B 31-3 [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>35</b>
<b>Figura 2.8</b> Archivo de unidades [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>36</b>
<b>Figura 2.9</b> Input del programa [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>37</b>
<b>Figura 2.10</b> Distribución nodal [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>37</b>
<b>Figura 2.11</b> Dimensiones [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>38</b>
<b>Figura 2.12</b> Propiedades de la tubería [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>38</b>
<b>Figura 2.13</b> Condiciones de operación [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>39</b>
<b>Figura 2.14</b> Condiciones del material [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>39</b>
<b>Figura 2.15</b> Componentes especiales [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>40</b>
<b>Figura 2.16</b> Casos de carga y salida de resultados [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>41</b>

<b>Figura 2.17</b> Estudio experimental de un lazo de expansión en los años 50 [9].....	<b>49</b>
<b>Figura 2.18</b> Factor de corrección “f” [10].....	<b>51</b>
<b>Figura 2.19</b> Momentos en codos y conexiones en T [10].....	<b>53</b>
<b>Figura 3.1</b> Resumen del procedimiento utilizado para realizar el análisis de esfuerzos [Fuente: Elaboración propia]. .....	<b>60</b>
<b>Figura 4.1</b> Modelo original del sistema [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>69</b>
<b>Figura 4.2</b> Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X6, donde se visualizar las juntas balanceadas [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>70</b>
<b>Figura 4.3</b> Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X5 [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>70</b>
<b>Figura 4.4</b> Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X4, donde se visualizar las juntas balanceadas [Fuente CAESAR II 2016]. .....	<b>71</b>
<b>Figura 4.5</b> Nomenclatura de las mediciones de espesores, vista seccional de la tubería [Fuente: Elaboración propia].....	<b>74</b>
<b>Figura 4.6</b> Modelo tridimensional, distribución nodal del cabezal de 30” y 34” [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>76</b>
<b>Figura 4.7</b> Ubicación de los nodos 130 y 140 en el modelo original, puntos críticos [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>79</b>
<b>Figura 4.8</b> Ubicación del nodo 740 en el modelo original, puntos más críticos [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>79</b>
<b>Figura 4.9</b> Ubicación de los nodos críticos debido a expansión térmica en el modelo original en estudio [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>81</b>
<b>Figura 4.10</b> Nomograma de dimensionamiento del lazo de expansión de 34” pertenecientes a las líneas de succión y descarga de residual. ....	<b>84</b>
<b>Figura 4.11</b> Ubicación de los nodos 2060 y 180 asociado a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].....	<b>86</b>

<b>Figura 4.12</b> Ubicación referencial del nodo 140, asociado a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].	<b>90</b>
<b>Figura 4.13</b> Ubicación de nuevos soportes en el lazo de expansión [Fuente CAESAR II 2011].	<b>93</b>
<b>Figura 4.14</b> Dimensionamiento en milímetros del lazo de expansión de 34" propuesto [Fuente: AutoCAD].	<b>94</b>
<b>Figura 4.15</b> Croquis para la ubicación de los soportes del lazo de expansión de la línea de 34 pulgadas entre los tanques 250X4 y 250X5 (unidades en centímetros), [Fuente: AutoCAD].	<b>95</b>
<b>Figura 4.16</b> Soportes existentes para el lazo de expansión (Nodos 488 y 500) [Fuente: AutoCAD].	<b>96</b>
<b>Figura A1</b> Múltiple de distribución hacia tanque 250X4.	<b>102</b>
<b>Figura A2</b> Punto en donde el cabezal de succión de Ø=34" y el cabezal de Ø=30"	<b>103</b>
<b>Figura A3</b> Vista del tendido de tuberías de Ø=12", Ø=14", Ø=16" y Ø=18"	<b>103</b>
<b>Figura A4</b> Vista en la trinchera de las líneas cabezales que reciben y distribuyen residual correspondiente a los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4,250X5 y 250X6. Indicado con flecha los cabezales de Ø=30" y Ø=34" que fueron evaluados.	<b>104</b>
<b>Figura A5</b> Vista lateral de las líneas de succión y descarga donde corre el tendido de tuberías.	<b>105</b>
<b>Figura A6</b> Línea de succión y descarga de diámetro de 34", se le instaló una brida ciega.	<b>105</b>
<b>Figura A7</b> Condición actual de las juntas de expansión, ubicadas las adyacencias del tanque de almacenamiento atmosférico 250X4.	<b>106</b>

<b>Figura A8</b> Condición actual de las juntas de expansión, se puede ver el desgaste esta junta se encuentra ubicada en las adyacencias del tanque de almacenamiento atmosférico 250X4.....	<b>106</b>
<b>Figura A9</b> Cabezal de Ø=30" desde tanques 250X4/5 hacia las plantas de la refinería.....	<b>107</b>
<b>Figura A10</b> Cabezales Principales de residual de Ø=12", Ø=14", Ø=16", Ø=18" y Ø=34.....	<b>107</b>
<b>Figura B1</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 01.....	<b>109</b>
<b>Figura B2</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 02.....	<b>110</b>
<b>Figura B3</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 03.....	<b>111</b>
<b>Figura B4</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 04.....	<b>112</b>
<b>Figura B5</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 05.....	<b>113</b>
<b>Figura B6</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 06.....	<b>114</b>
<b>Figura B7</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 07.....	<b>115</b>
<b>Figura B8</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 08.....	<b>116</b>
<b>Figura B9</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 09.....	<b>117</b>
<b>Figura B10</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 10.....	<b>118</b>
<b>Figura B11</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 11.....	<b>119</b>
<b>Figura B12</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 12.....	<b>120</b>
<b>Figura B13</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 13.....	<b>121</b>
<b>Figura B14</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 14.....	<b>122</b>
<b>Figura B15</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 15.....	<b>123</b>
<b>Figura B16</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 16.....	<b>124</b>
<b>Figura B17</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 17.....	<b>125</b>
<b>Figura B18</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 18.....	<b>126</b>
<b>Figura B19</b> Isométricos del Diseño Original - Plano 19.....	<b>127</b>

<b>Figura C1</b> Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos- Plano 1.....	<b>133</b>
<b>Figura C2</b> Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos- Plano 2.....	<b>134</b>
<b>Figura C3</b> Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos- Plano 3.....	<b>135</b>
<b>Figura C4</b> Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos- Plano 4.....	<b>136</b>
<b>Figura C5</b> Soporte tipo “Cristo” perteneciente a la propuesta de mejora. Modificación al cabezal de 34” .....	<b>137</b>

## LISTA DE TABLAS

	PÁG.
<b>Tabla 4.1</b> Especificaciones del sistema [Fuente: Elaboración propia]. ....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.2</b> Propiedades del suelo [Fuente: Elaboración propia]. .....	<b>72</b>
<b>Tabla 4.3</b> Medición de espesores en los cabezales de 30” y 34” correspondientes a las líneas de succión y descarga [Fuente: Elaboración propia]......	<b>73</b>
<b>Tabla 4.4</b> Comparación de espesores [Fuente: Elaboración propia]......	<b>74</b>
<b>Tabla 4.5</b> Especificación AA1 [Fuente: Elaboración propia]......	<b>75</b>
<b>Tabla 4.6</b> Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación correspondiente al sistema original [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>77</b>
<b>Tabla 4.7</b> Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de diseño correspondiente al sistema original [Fuente CAESAR II 2011]......	<b>78</b>
<b>Tabla 4.8</b> Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de operación del sistema original [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>80</b>
<b>Tabla 4.9</b> Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño del sistema original [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>80</b>
<b>Tabla 4.10</b> Longitudes del lazo de expansión para el dimensionamiento [Fuente: Elaboración propia]......	<b>82</b>
<b>Tabla 4.11</b> Calculo de expansión térmica del lazo de expansión en estudio [Fuente: Elaboración propia]......	<b>83</b>
<b>Tabla 4.12</b> Conversión de longitudes totales ( <i>LL</i> ), de acuerdo al uso del nomograma [Fuente: Elaboración propia]. .....	<b>85</b>

<b>Tabla 4.13</b> Esfuerzos máximos generados en la prueba hidrostática asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>86</b>
<b>Tabla 4.14</b> Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>87</b>
<b>Tabla 4.15</b> Esfuerzos máximos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de diseño asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011] .....	<b>87</b>
<b>Tabla 4.16</b> Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de operación asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>88</b>
<b>Tabla 4.17</b> Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>89</b>
<b>Tabla 4.18</b> Máximos desplazamientos en la propuesta de mejora [Fuente: CAESAR II 2011]. .....	<b>91</b>
<b>Tabla 4.19</b> Restricciones en los soportes del lazo de 34" [Fuente CAESAR II 2011]. .....	<b>92</b>

# CAPITULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La Refinería de Puerto la Cruz (RPLC) es una importante productora de diversos tipos de combustibles, como Diésel, Jet, Nafta, Gasolina, Gas licuado de petróleo (GLP), Destilados y Residuales, con una capacidad de producción diaria de 187.000 barriles (BPD). La Refinería de Puerto la Cruz está ubicada en el noreste de Venezuela, específicamente en el estado Anzoátegui, en la localidad de Puerto la Cruz, y forma parte del Complejo de Refinación Oriente. Sus inicios se remontan a la década de los cuarenta, cuando inició sus operaciones la Unidad de Destilación Atmosférica I (DA-1). Posteriormente, en el año 1957, se puso en marcha la Unidad de Destilación Atmosférica II (DA-2).

Debido al auge petrolero, la refinería se expandió con el tiempo y se construyeron diversas unidades, como la unidad de Fraccionamiento de Nafta, la unidad de Alquilación, la unidad de tratamiento de Merox en conjunto con la unidad de tratamiento de gases, las unidades de servicios industriales y la Unidad de Hidroprocesos (HHPP). La refinería cuenta con aproximadamente (250) tanques, distribuidos en una extensión de (300) hectáreas para almacenar los productos refinados que se despachan a nivel nacional e internacional.

En este contexto de gran producción y almacenamiento de productos derivados del petróleo, resulta esencial garantizar la seguridad y la confiabilidad de las instalaciones, especialmente en lo que respecta a la integridad de las tuberías y líneas de transporte de producto. En particular, las juntas de expansión, las cuales son elementos importantes, que permiten absorber las dilataciones térmicas que se producen en los tramos de tubería, lo cual evita esfuerzos y deformaciones excesivas que pueden generar fallas y fugas. Por lo tanto, es importante evaluar el estado en el que se encuentran las juntas de expansión y su capacidad para cumplir con su función, especialmente, en las líneas críticas que transportan productos inflamables y/o peligrosos. De esta manera, se puede

garantizar la continuidad operacional y reducir los riesgos asociados a la operación de la Refinería.

En función a lo anterior, se llevará a cabo la evaluación de las líneas de succión y descarga de residual, asociadas a los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6. Dado que el diseño original de estas líneas consta de cuatro juntas de expansión balanceadas con barras, ubicadas a la entrada de los tanques 250X4 y 250X6, que funcionan para absorber la dilatación térmica de los tramos de tubería que conectan los tanques (aproximadamente 150 m de longitud cada uno). Estas líneas se encuentran restringidas axialmente a la entrada del tanque 250X5, a través de topes límites, para direccionar la expansión térmica de las tuberías hacia las juntas balanceadas.

La problemática descrita representa una situación crítica que compromete el adecuado funcionamiento de los tanques, debido a la falta de alineación de las juntas de expansión en las líneas. Esto genera condiciones inseguras y desequilibrios en las tuberías y conexiones, incrementando significativamente el riesgo de fugas, rupturas e incluso explosiones. En vista a la situación en la que se encuentran las juntas, es crucial abordar esta problemática para garantizar la seguridad y el correcto desempeño de los tanques de almacenamiento atmosférico.

En este marco, es importante preguntarse: ¿Qué consecuencias se podrían presentar si las juntas de expansión no son remplazadas? ¿Podría el correcto funcionamiento de los tanques verse aún más comprometido? Por tanto, resulta determinante realizar una evaluación exhaustiva a las juntas de expansión y aplicar una solución efectiva para avalar la integridad y el funcionamiento de los tanques, asegurando que los resultados obtenidos cumplan con los valores admisibles establecidos por la norma ASME B31.3. para asegurar la correcta operación de estos tanques que son parte de la Refinería de Puerto la Cruz.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo General

Proponer la sustitución de las juntas de expansión por lazos de expansión en las líneas de succión y descarga de residual de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6, de la Refinería Puerto la Cruz, Estado Anzoátegui.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un levantamiento de campo a las líneas de succión y descarga de residual de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6.
2. Cotejar la información obtenida con los planos isométricos del sistema en estudio.
3. Establecer las condiciones de operación y diseño de las líneas de succión y descarga.
4. Elaborar modelo tridimensional del sistema donde se incluyan los lazos de expansión.
5. Dimensionar los lazos de expansión de acuerdo con la norma ASME 31.3.
6. Actualizar los planos isométricos con los lazos de expansión propuestos al diseño actual.

## **1.3 Generalidades de la empresa**

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) es una empresa estatal venezolana fundada en 1976, consolidando la nacionalización de la industria petrolera en el país. Surgió tras la unificación de varias empresas petroleras internacionales que operaban en Venezuela. Desde su creación, PDVSA se ha destacado como uno de los principales productores de petróleo del mundo y como el motor económico de Venezuela.

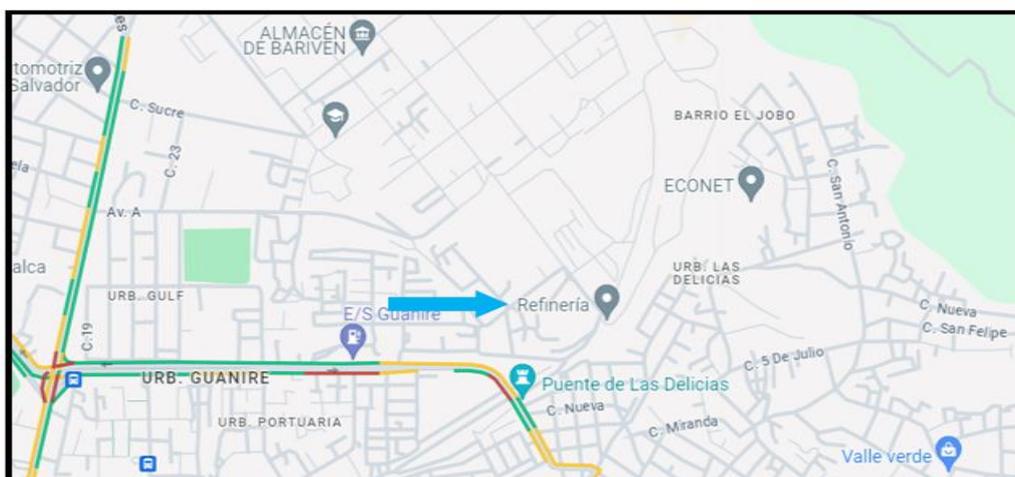
Durante décadas, PDVSA ha contribuido significativamente al desarrollo económico y social de Venezuela, generando importantes ingresos para el Estado y promoviendo proyectos de infraestructura y programas sociales en todo el país.

Con vastas reservas de petróleo y una infraestructura petrolera bien desarrollada, PDVSA ha sido un actor clave en el panorama energético global, manteniendo relaciones comerciales con numerosos países y empresas internacionales.

En su apogeo, alcanzó una capacidad máxima de producción de más de 3 millones de barriles de petróleo diarios, consolidándola como una de las empresas petroleras más grandes del mundo.

PDVSA es propietaria y opera varias refinerías en Venezuela, entre las que se incluyen la Refinería Puerto la Cruz, la Refinería El Palito, la Refinería Amuay y la Refinería Cardón, entre otras. Estas refinerías juegan un papel fundamental en el procesamiento del crudo venezolano para la producción de una amplia gama de productos petrolíferos, tanto para consumo interno como para exportación.

PDVSA opera en tres áreas geográficas clave: Puerto la Cruz, El Chaure y San Roque, situadas en el norte y centro del estado Anzoátegui. En esta región, la Refinería Puerto la Cruz, destacada con una flecha en color azul en la figura 1.1, funciona como el Centro de Ejecución Principal de Oriente. Fue en estas instalaciones donde se llevó a cabo el desarrollo del proyecto para Petróleos de Venezuela, SA (PDVSA).



**Figura 1.1. Ubicación geográfica del Centro de Ejecución Oriente de Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) [1].**

### 1.3.1 Ubicación de las líneas de succión y descarga

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de PDVSA-Refinación Oriente, específicamente en el área del Patio de Tanques de Almacenaje, ubicado en la intersección de la avenida "M" con calle 32, dentro de la Refinería Puerto la Cruz (RPLC), en el municipio Juan Antonio Sotillo, estado Anzoátegui, Venezuela, como se ilustra en la figura 1.2.



**Figura 1.2.** Ubicación geográfica del área de Patio de Tanques de Almacenaje, Refinería Puerto la Cruz (RPLC) [2].

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

En todos los procesos industriales, es importante considerar las posibles fallas mecánicas que se pueden presentar en los diversos mecanismos que integran la industria petrolera.

En este contexto, resulta fundamental para la ejecución de este proyecto de investigación centrarse en los Lazos de Expansión, ya que constituyen elementos esenciales concebidos para absorber movimientos térmicos y mecánicos en sistemas de tuberías, originados por variaciones de temperatura, vibraciones o cambios estructurales. De esta manera, se establece como punto de partida el estudio de las juntas y los lazos de expansión en los procesos industriales.

**Rengel, Y [3]**, propuso mejorar el sistema mediante la implementación de lazos de expansión tridimensionales para reducir los esfuerzos en la tubería. Esta propuesta se basó en la simulación de un modelo que integra estos lazos, los cuales ofrecen mayor flexibilidad que los lazos en dos dimensiones. Se optó por esta solución debido a la limitación de espacio, ya que los lazos tridimensionales ocupan menos espacio. Además, se buscó cumplir con los estándares de la norma ASME B31.1 para tuberías de generación de potencia. El diseño incluyó tres pequeños lazos de expansión tridimensionales, cuya ubicación y tamaño se determinaron cuidadosamente para evitar interferencias con otros componentes del sistema.

Este estudio aportó significativamente a este proyecto al establecer parámetros y variables clave para llevar a cabo análisis estáticos de flexibilidad en sistemas de tuberías similares. La implementación de lazos de expansión tridimensionales, no solo ayudó, a reducir los esfuerzos en la tubería, sino que también permitió una mayor flexibilidad y adaptabilidad del sistema a los cambios térmicos y mecánicos. Esto se traduce en una mejora considerable en la eficiencia

y confiabilidad de las instalaciones, lo que impactó positivamente en el desarrollo y éxito del proyecto en su conjunto.

**Guerra, S [4]**, llevó a cabo un proyecto de diseño de líneas Bypass para las válvulas de control de vapor sobrecalentado en la unidad de destilación atmosférica N°1 (DA-1). El objetivo principal de este diseño fue evitar interrupciones en la producción de nafta, Jet A-1, diésel y gasóleo durante el mantenimiento correctivo de alguna de estas válvulas. El diseño de las líneas Bypass se realizó siguiendo las normas ASME B31.3 y PDVSA H-221. Durante el proceso, se realizaron modificaciones al modelo existente para proporcionar flexibilidad y cumplir con los códigos ASME B31.3 y ASME Sección VIII División II. Estas modificaciones incluyeron cambios en el enrutamiento de las tuberías, la reubicación de válvulas, los lazos de expansión y la adición de diferentes tipos de soportes, como soportes tipo guía, +Y.

No solo contribuyó a reducir los esfuerzos en la tubería, sino que también posibilitó una mayor flexibilidad y adaptabilidad del sistema frente a los cambios térmicos y mecánicos. Esto se tradujo en una mejora considerable de la eficiencia y confiabilidad de las instalaciones, lo que repercutió positivamente en el desarrollo y éxito del proyecto en su conjunto.

**Guzmán, M. [5]**, elaboró un manual de diseño para sistemas de tuberías y tanques atmosféricos de techo fijo con el propósito de servir como guía de diseño para la empresa SVINCA (Servicios Venezolanos de Ing. C.A.). El manual se basó en normas internacionales (ASME y API), normas nacionales (COVENIN y PDVSA), documentos de referencia y buenas prácticas de ingeniería. De manera amigable y paso a paso, el manual proporciona los procedimientos necesarios para garantizar resultados válidos y eficaces. En cuanto a los sistemas de tuberías, el manual aborda las tuberías de procesos como oleoductos y gasoductos de acero sometidos a presión interna, que abarca las tuberías de procesos, los oleoductos y los gasoductos de acero sometidos a presión interna, a ser instalados en tierra firme. Como también, cuando fueron sometidas a deformación por expansión o contracción térmica.

Este trabajo sirvió como guía para la selección de materiales en el tramo en estudio, en vista de que se requiere un conjunto de bases teóricas y criterios de diseño necesarios para lograr la selección adecuada de los diversos elementos de tuberías y accesorios que formarán parte del sistema.

## **2.2 Fundamentos teóricas**

### 2.2.1 Lazos de expansión

Los lazos de expansión en tuberías son elementos clave para absorber desplazamientos térmicos y reducir los esfuerzos en el sistema. Su función principal es incrementar la flexibilidad del sistema, permitiendo que las tuberías se expandan y contraigan sin generar tensiones excesivas. Estos lazos se instalan a distancias previamente determinadas a lo largo de los tramos de tuberías, garantizando una expansión térmica controlada.

Pueden ser simétricos o asimétricos, y su ubicación debe considerar los soportes existentes para evitar voladizos indeseados. Un diseño adecuado es fundamental para asegurar un funcionamiento seguro y confiable del sistema de tuberías a largo plazo.

Los lazos de expansión funcionan bajo el principio de flexión de la tubería, lo que permite absorber de manera eficiente los desplazamientos térmicos. Se utilizan principalmente en sistemas donde las deformaciones axiales son significativas, como en plantas térmicas, generadoras de energía, la industria petrolera y sistemas de vapor, donde las temperaturas del fluido pueden alcanzar hasta 600°C.

Además, estos dispositivos están diseñados específicamente para compensar la expansión axial de las tuberías, es decir, el alargamiento o contracción que ocurre a lo largo de su eje debido a variaciones de temperatura. Gracias a su capacidad de absorción controlada, los lazos de expansión minimizan los esfuerzos en el sistema y previenen daños estructurales, garantizando así la seguridad y eficiencia operativa.

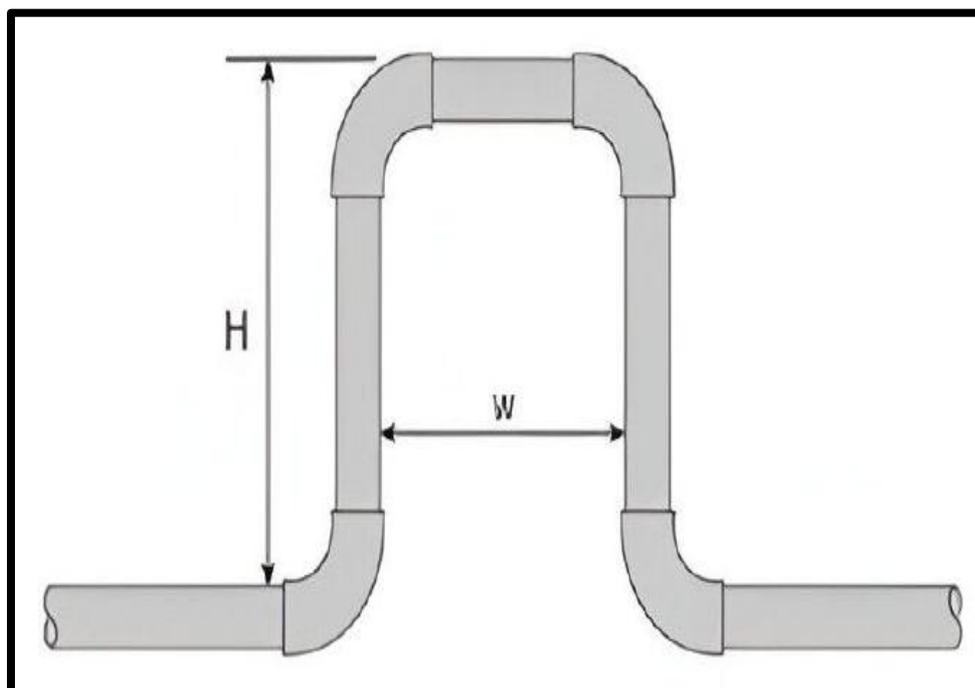
Entre los factores determinantes para la expansión axial se encuentran:

(Ec. 2.1)

Dónde: 
$$\Delta X = \frac{P L}{A E}$$

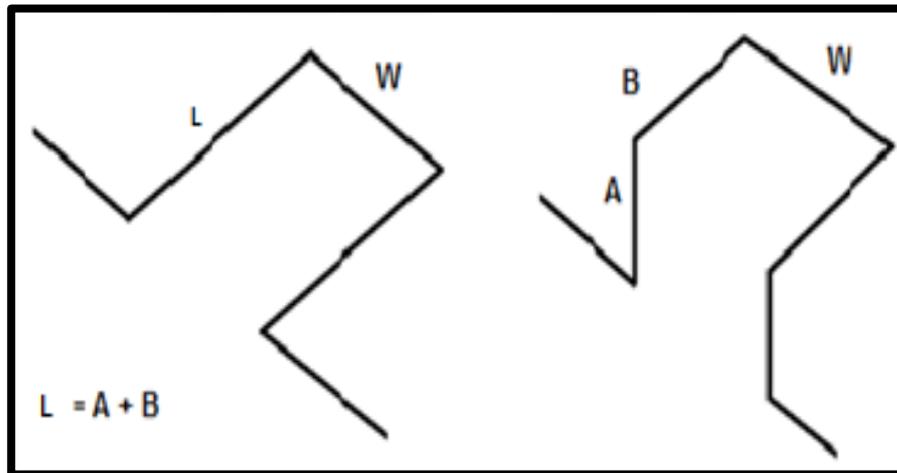
- $\Delta X$  es la expansión axial máxima que puede absorber el lazo de expansión (pulgada, pulg).
- $P$  es la carga axial aplicada (libras, lb).
- $E$  es el módulo de Young del material (lb/pulg<sup>2</sup>).
- $L$  es la longitud de la tubería (pulgada, pulg).
- $A$  es el área de la sección transversal de la tubería (pulgada<sup>2</sup>, pulg<sup>2</sup>).

En la Ecuación 2.1 se observa que ciertos parámetros, como el módulo de elasticidad, el área de la sección transversal, son propiedades intrínsecas del material de la tubería y, para un mismo material, se consideran constantes. Consecutivamente, la capacidad del lazo de expansión para absorber dicha deformación depende esencialmente de su geometría, es decir, que la capacidad de un lazo de expansión para absorber la deformación axial (es decir, el alargamiento o acortamiento en la dirección de la tubería debido a cambios de temperatura u otras fuerzas) depende de la altura del lazo de manera cuadrática, como se ilustra en la Figura 2.1 que se muestra a continuación [6].



**Figura 2.1** Lazos de expansión 2D [6].

Cuando la altura del lazo de expansión fabricado es excesiva, se considera como alternativa eficaz, la construcción de lazos de expansión tridimensionales. Estas estructuras más complejas ofrecen la capacidad de absorber movimientos en múltiples direcciones, lo que las hace ideales para entornos con terreno irregular o sistemas de tuberías sujetos a fuerzas externas variables. Utilizando la Ec.2.2, con la consideración mostrada en la figura 2.2 (idealizando la altura del lazo igual a la suma de los tramos perpendiculares). Los lazos tridimensionales implican un diseño más elaborado, con articulaciones y uniones flexibles que permiten una mayor libertad de movimiento como se muestra en la figura 2.2, cabe resaltar que las deducciones que se muestran en las figuras corresponden a un lado del lazo, es decir, se deben multiplicar por 2 para completar el diseño total del lazo 3D.



**Figura 2.2** Idealización de lazo tridimensional [Fuente: Elaboración propia].

Luego de realizar un análisis teórico de los esfuerzos flectores generados en los lazos de expansión, se propone el proceso de selección de los lazos de expansión, este debe tener la capacidad de acomodar los cambios en el volumen del fluido debido a las variaciones de temperatura y presión. Asegurándose de que el rango de expansión y contracción del lazo sea adecuado para las condiciones esperadas. [6]

#### 2.2.2 Dimensionamiento de los lazos de expansión

El dimensionamiento de lazos de expansión en tuberías es una técnica utilizada para compensar la expansión térmica en sistemas de tuberías. Los lazos de expansión, también conocidos como bucles de expansión, permiten que la tubería se expanda y se contraiga sin causar daños ni excesivo estrés en el sistema. Una forma de dimensionar los lazos, es mediante el uso de nomogramas, que son gráficos que permiten determinar las dimensiones de los lazos a partir de ciertos parámetros de diseño, como se explica a continuación:

1. Identificar los parámetros de diseño:
  - Longitud de la tubería (L): La longitud total de la tubería que se va a expandir.
  - Diámetro de la tubería (D): El diámetro exterior de la tubería.
  - Cambio de temperatura ( $\Delta T$ ): La diferencia de temperatura entre la operación máxima y la temperatura ambiente.
2. Calcular la expansión térmica ( $\Delta L$ ):

Utilizando la fórmula:

$$\Delta L = L * \mu * \Delta T \quad (\text{Ec. } 2.2)$$

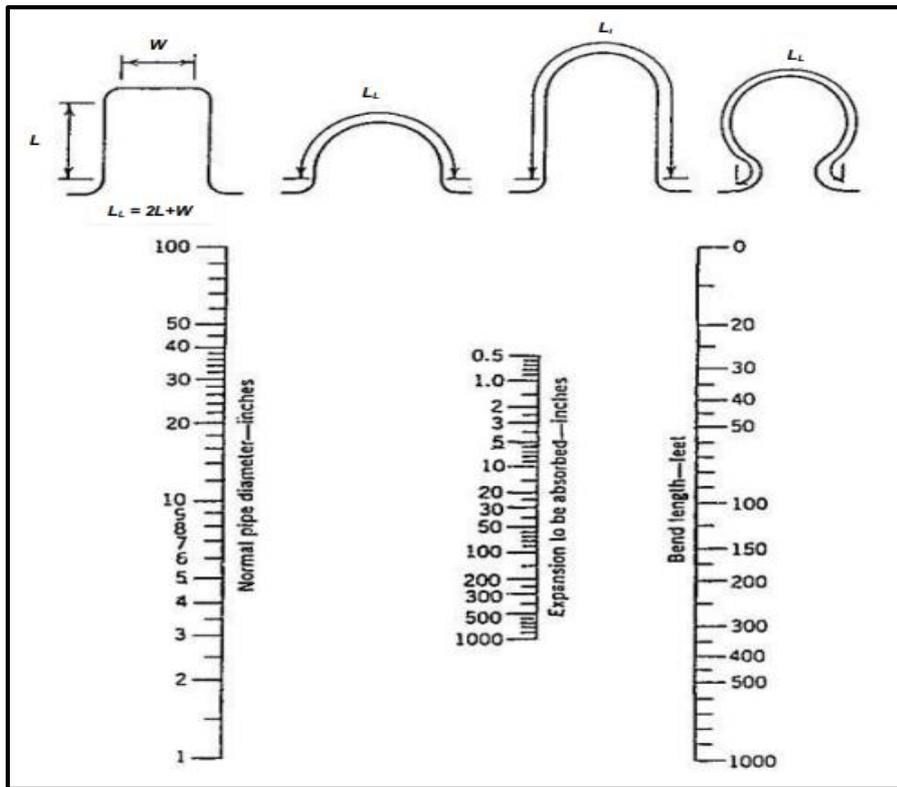
Dónde:

- $\Delta L$  es la expansión térmica de la tubería, (mm).
- $\mu$  es el coeficiente de expansión térmica del material, se mide generalmente en  $1/^\circ\text{C}$  (inverso de grados Celsius) o  $1/^\circ\text{F}$  (inverso de grados Fahrenheit). Esta unidad indica el cambio en la longitud de un material por cada grado de cambio en la temperatura.
- $L$  es la longitud de la tubería, (mm).
- $\Delta T$  el cual es la diferencia de temperatura entre la temperatura de operación máxima menos la temperatura ambiente del sistema en estudio, ( $^\circ\text{C}$ ).

### 2.3 Nomograma

Los nomogramas son gráficos específicos que relacionan los parámetros clave para el diseño de lazos de expansión. Estos gráficos suelen tener varias escalas que representan las diferentes variables del sistema.

Un nomograma para lazos de expansión presenta escalas que representan dimensiones críticas, como la longitud (A) y la altura (B) del lazo. Para utilizarlo, se traza una línea recta que conecta los valores conocidos, como el diámetro de la tubería y la expansión térmica calculada, permitiendo leer directamente la dimensión requerida del lazo de expansión. La Figura 2.3 muestra el nomograma correspondiente.



**Figura 2.3** Gráfica de nomograma para calcular el dimensionamiento del lazo de expansión [7].

### 2.3.1 Lectura del nomograma

Una vez trazada la línea recta en el nomograma, se interceptan las escalas, lo que permite obtener directamente las dimensiones necesarias para el lazo de expansión. Generalmente, estos nomogramas proporcionan la longitud y la altura requeridas del lazo para absorber la expansión térmica calculada.

### 2.3.2 Verificación y ajuste del nomograma

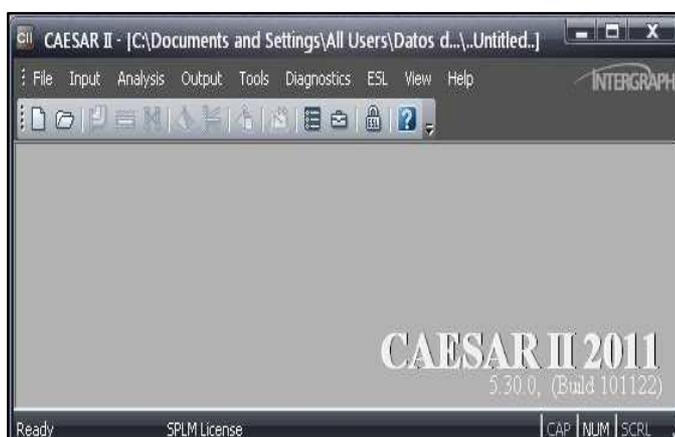
Una vez determinadas las dimensiones del lazo de expansión, es crucial verificar que estas se ajusten a las limitaciones físicas del sitio y a los criterios de diseño del sistema. Además, se deben considerar factores adicionales como la flexibilidad del material, los soportes de la tubería y las condiciones operativas. Por ejemplo, la expansión y contracción térmica afectan tanto a materiales metálicos como termoplásticos, y si no se consideran durante el diseño, pueden generar tensiones que comprometan la integridad del sistema.

Como se puede observar el uso de los nomogramas es práctico y rápido para ingenieros, pero es fundamental asegurarse de que se aplican correctamente según los estándares, especificaciones y la norma correspondiente. También se pueden utilizar programas de diseño de software que automatizan este proceso y ofrecen una precisión aún mayor como el Nozzle PRO y el Caesar II [7].

## 2.4 CAESAR II

El programa CAESAR II es una herramienta para el análisis de esfuerzos en tuberías utilizada para el diseño mecánico y el análisis de los sistemas de tuberías.

Su uso es práctico y dinámico dado que el usuario crea un modelo del sistema de tuberías mediante elementos simples y definiendo las condiciones de carga impuestas en el proceso. Con esta entrada, el programa produce resultados en forma de desplazamientos, cargas y esfuerzos en todo el sistema. Además, el programa compara esos resultados con los límites especificados por códigos y estándares reconocidos. Para iniciar el programa se realiza doble clic en el icono de CAESAR II. Aparece en la pantalla del Menú Principal. El Menú principal se utiliza para dirigir las acciones del CAESAR II, (ver Figura 2.4).



**Figura 2.4** Menú principal [Fuente CAESAR II 2011].

A continuación, se procede a crear un nuevo archivo, haciendo clic en “File” “New” del Menú Principal. En CAESAR II los análisis requieren un nombre de trabajo para su identificación.

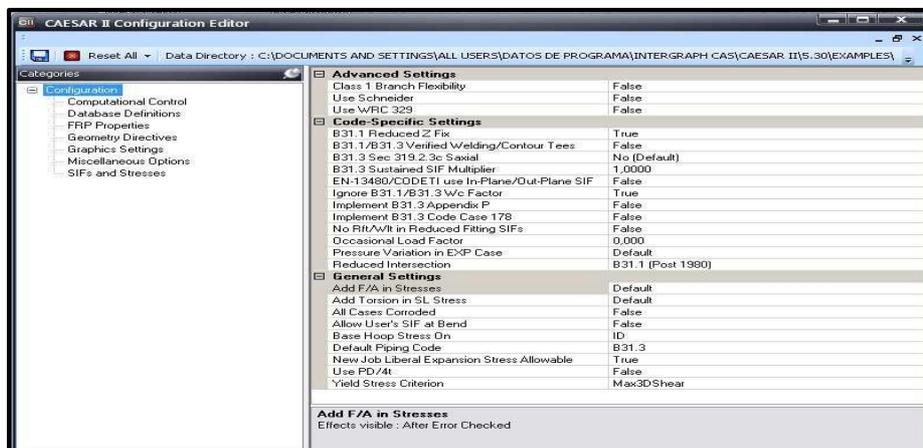
La entrada, el análisis o la revisión de la salida se refieren al nombre de trabajo especificado (ver Figura 2.5).



**Figura 2.5** Nuevo trabajo [Fuente CAESAR II 2011].

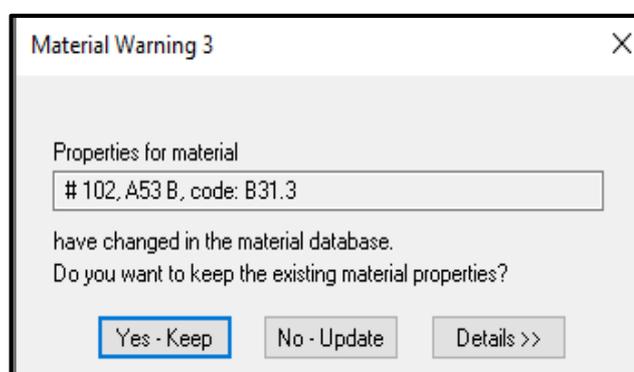
Al seleccionar un nombre de trabajo no se abre el archivo; únicamente se le está indicando al programa sobre el cálculo en el cual se realizarán las operaciones (modelado, análisis, resultados, entre otros). Pero esto será después de configurar todos los parámetros que queremos que contemple el análisis: Código, Unidades, entre otros.

El siguiente paso, una vez creado el archivo, es definir los datos básicos que van a regir nuestro análisis. Para ello en la barra del menú principal se



**Figura 2.6** Configuración del programa [Fuente CAESAR II 2011].

selecciona “Tools” – “Configure/Setup” y aparece la siguiente ventana para cambiar la configuración de los distintos valores y opciones que afectarán al método de cálculo y que permiten personalizar el programa como se puede apreciar en la figura 2.6, inclusive permite seleccionar la norma que se adapte a los requerimientos de diseño exigidos, en este caso que es la norma ASME B 31.3 tal como se muestra en la figura 2.7

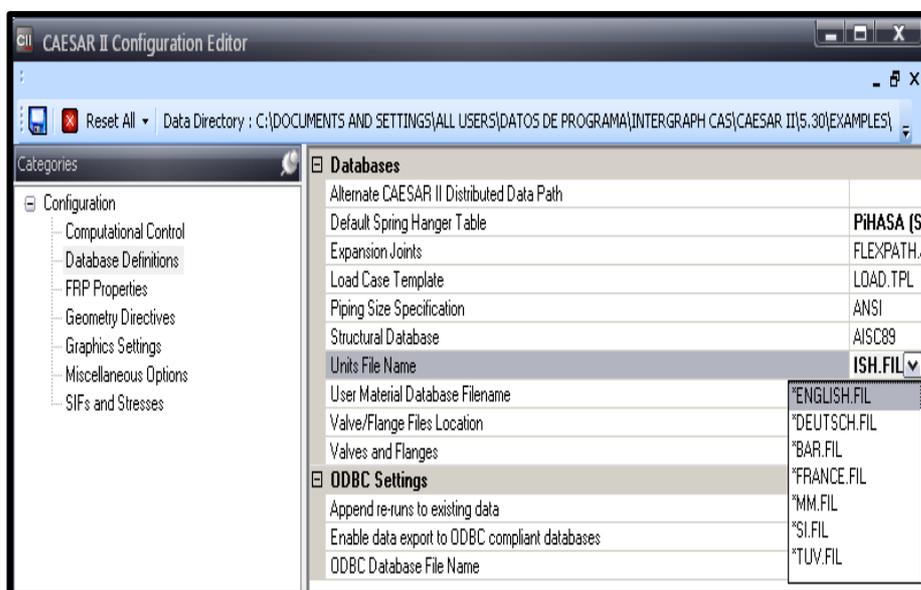


**Figura 2.7.** Código ASME B 31-3 [Fuente CAESAR II 2011].

Dentro de “Configuration”, en cada pestaña que se selecciona se encuentran parámetros y valores que dadas las condiciones requeridas se mantienen en el análisis como otras que no.

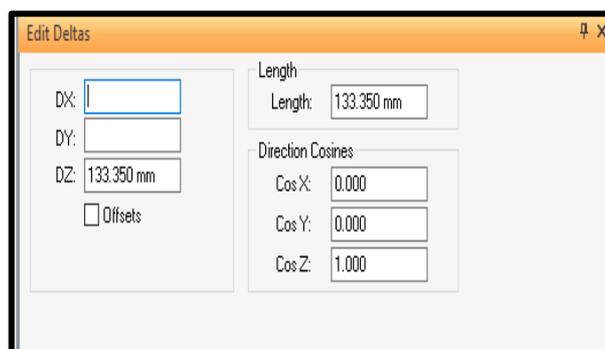
Al lado de cada casilla se indica el valor que toma el correspondiente parámetro, o en su caso “Default”, el cual indica si está seleccionada por defecto en el programa o no, como se visualiza en la figura 2.7.

Uno de los apartados que hay que revisar es el “Sistema de Unidades”. Se plantea la opción de utilizar un sistema existente o crear uno nuevo. Lo más probable es que ya exista uno específico. En el menú principal se elegirá “Tools” – “Configure/Setup” – “Database Definitions” – “Unit File Name”. Esto se puede apreciar en la figura 2.8.



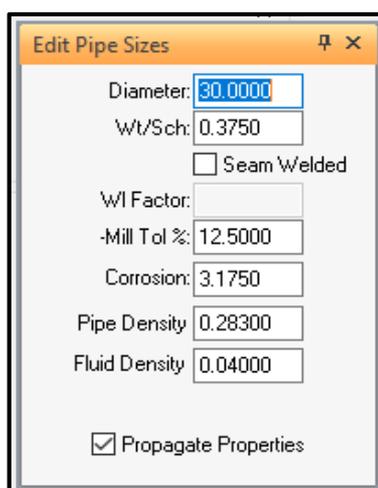
**Figura 2.8** Archivo de unidades [Fuente CAESAR II 2011].

Abriendo la pestaña correspondiente aparecen distintos sistemas existentes y se selecciona el que convenga. La modelación del sistema de tuberías consiste en describir todos los elementos del sistema, así como cualquier influencia externa (condiciones de contorno o cargas) que actúa sobre ellos. Cada elemento de tubería es identificado por dos números del nodo, y requiere la especificación de la geometría, datos representativos y materiales (ver Figura 2.9).



**Figura 2.9** Input del programa [Fuente CAESAR II 2011].

A continuación, se detalla el procedimiento para crear los elementos que representaron el sistema de tuberías. La correcta distribución de los nodos fue fundamental para lograr una precisión uniforme y exacta. Asimismo, se asignó un nombre a cada uno, tal como se realizó en las conexiones a equipos (véase Figura 2.10).



**Figura 2.10** Distribución nodal [Fuente CAESAR II 2011].

Seguidamente se introducen las dimensiones según los ejes x, y, z. También es posible definir la longitud total del tramo y los cosenos directores como se puede notar en la figura 2.11.

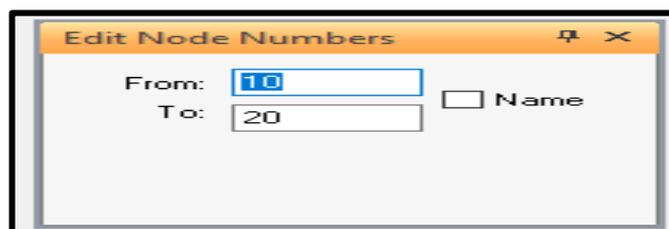


Figura 2.11 Dimensiones [Fuente CAESAR II 2011].

Posteriormente, se introducirán las propiedades de la tubería. Se especificó el diámetro nominal y el horario, que se ingresaron en pulgadas y se convirtió automáticamente a milímetros. En la misma ventana, se incluyen los valores de tolerancia de fabricación, corrosión admisible, densidad del fluido, entre otros, según se apreciaba en la Figura 2.12, y luego se registran las temperaturas, presión y presión hidrostática, conforme se muestra en la Figura 2.13.

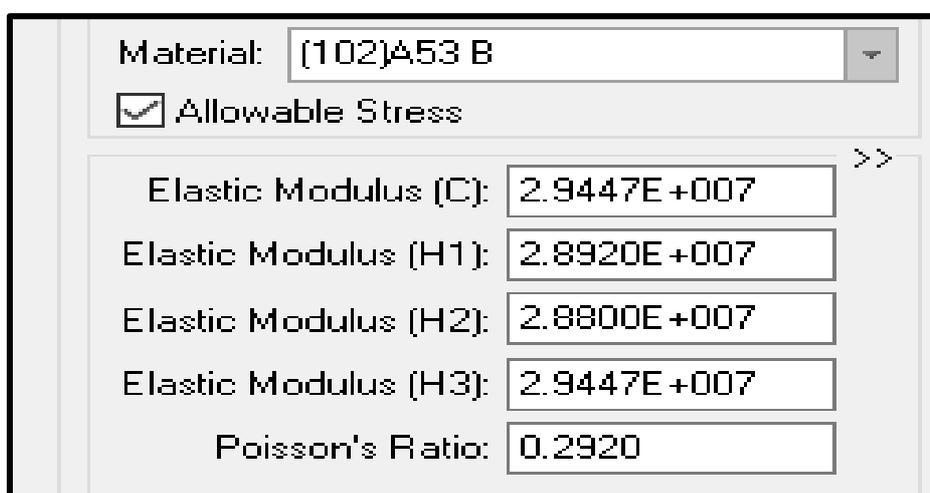


Figura 2.12 Propiedades de la tubería [Fuente CAESAR II 2011].

	Temperature	Thermal Expansion	Pressure
1:	180.0000	0.000599	22.0000
2:	200.0000	0.000732	36.0000
3:			
4:			
5:			
6:			
7:			
8:			
9:			
		Hydro:	130.0000

Propagate Parameters

**Figura 2.13** Condiciones de operación [Fuente CAESAR II 2011].

Al introducir el material de la tubería, hacer doble clic en “Allowable Stress” e indicar el código aplicable en el cálculo (B31.3 en nuestro caso). Las tensiones admisibles para el material, la temperatura y el código seleccionados aparecen automáticamente. También se puede editar las propiedades elásticas del material (para modificar el módulo de elasticidad en caliente, por ejemplo). Esto se puede apreciar en la figura 2.14.

Material: (102)A53 B

Allowable Stress

Elastic Modulus (C): 2.9447E+007

Elastic Modulus (H1): 2.8920E+007

Elastic Modulus (H2): 2.8800E+007

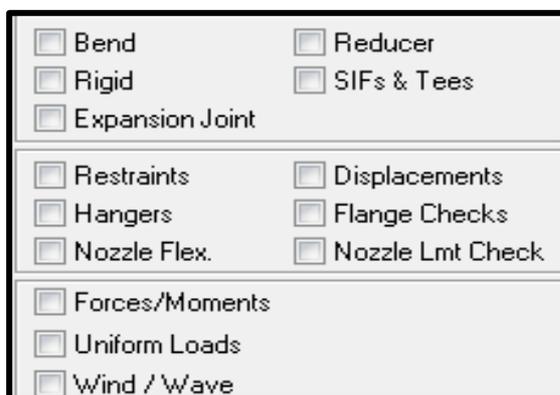
Elastic Modulus (H3): 2.9447E+007

Poisson's Ratio: 0.2920

**Figura 2.14** Condiciones del material [Fuente CAESAR II 2011].

Los Componentes especiales como codos, rígidos, juntas de expansión, reductores, tees y SIFs; condiciones de contorno como restricciones (soportes), muelles, toberas y desplazamientos impuestos y condiciones de carga como fuerzas y momentos externos, cargas uniformes o viento; pueden definirse

haciendo doble clic en el respectivo componente e introduciendo los datos necesarios en la ventana auxiliar tal como se puede observar en la figura 2.15.



**Figura 2.15** Componentes especiales [Fuente CAESAR II 2011].

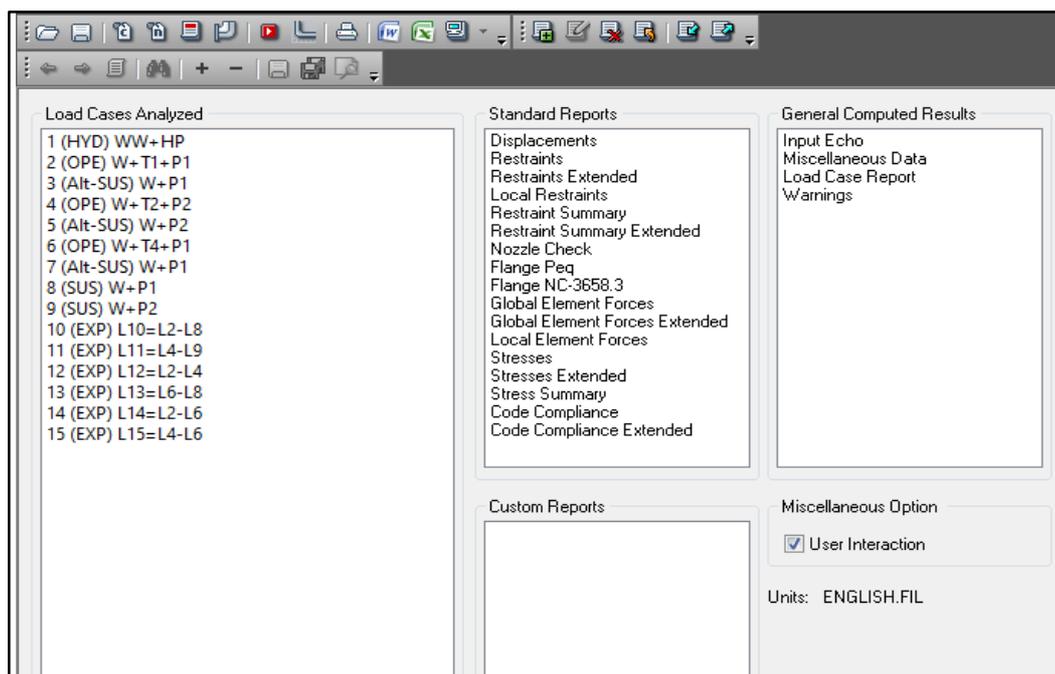
Una vez modelado el sistema, el análisis estático no puede realizarse sin verificar la entrada de datos para comprobar si hay errores. Para ello seleccionaremos el menú “File”- “Error Check”. La verificación de los datos de entrada consiste en la comprobación de cada elemento individual. El análisis estático se puede ejecutar desde el menú principal o desde la entrada de datos “piping input” una vez realizado el chequeo de errores.

Hecho esto hay que definir los casos de carga. Para los nuevos trabajos (cuando no existe ninguna solución anterior archivada), el programa recomienda al usuario unos casos de carga basados en las condiciones de operación encontradas en la entrada de datos. Generalmente, estos casos de carga son insuficientes para satisfacer los requerimientos del código. Podremos modificar, eliminar y añadir nuevos casos a los recomendados por el programa.

Una vez que se hayan definido los casos de la carga, el usuario ejecuta la solución del análisis estático seleccionando el menú “File” – “Analyze” o el icono “Start Run”. El programa calcula matrices de rigidez de los elementos, fuerzas, momentos, tensiones, desplazamientos, diseño y selección de muelles.

La revisión de la salida de datos estática puede realizarse inmediatamente después de ejecutar el análisis, o posteriormente seleccionando en el menú principal “Output” – “Static”. Los resultados pueden ser revisados seleccionando unos o más casos de la carga junto con uno o más informes. Estos podrán

visualizarse en directamente o utilizando Word (“View Reports” / “Using Microsoft Word”), imprimirlos (“File” – “Print”) o guardarlos en un archivo (“File” - “Save / Save As”), tal como se muestra en la Figura 2.16.



**Figura 2.16** Casos de carga y salida de resultados [Fuente CAESAR II 2011].

El estudio real de los resultados dependerá del propósito de cada caso de carga y de la razón para el análisis. La revisión generalmente comprueba que los esfuerzos del sistema estén por debajo de las admisibles, las cargas en las restricciones sean aceptables y los desplazamientos no sean excesivos.

Además, al ejecutar el CAESAR II, el programa realiza cálculos numéricos basados en el análisis estructural de la tubería y sus cargas. Los porcentajes que aparecen en los resultados se obtienen al comparar los valores calculados (por ejemplo, tensiones, deformaciones o movimientos) con los límites permisibles definidos en las normativas o especificaciones de diseño. Este proceso implica:

- Calcular las respuestas estructurales de la tubería ante las cargas aplicadas (tanto estáticas como dinámicas).

- Determinar el valor máximo o crítico de la respuesta (por ejemplo, la tensión máxima en un punto).
- Comparar dicho valor con el límite permisible establecido para esa condición de carga.
- Expresar la relación entre el valor calculado y el límite como un porcentaje, es decir, multiplicar el cociente por 100.

De esta manera, un resultado del 80% indicaría que la respuesta calculada representa el 80% del límite admisible, lo que ayuda a evaluar si el diseño cumple con los criterios de seguridad y funcionalidad. En el capítulo 4 se podrá observar detalladamente el aporte de este excelente software de simulación, el cual fue seleccionado para demostrar la efectividad de la propuesta planteada en este trabajo de grado.

### **2.5 Condiciones de trabajo según código ASME B-31.3**

El código ASME B31 establece cinco condiciones clave a considerar antes de diseñar un sistema de tuberías (piping).

1. Presión del sistema: Tanto interna como externa.
2. Temperatura de trabajo: La temperatura de diseño corresponde a la máxima alcanzada por la tubería durante su ciclo operativo.
3. Influencias ambientales: Incluyen variaciones significativas de temperatura que afectan la presión del sistema, como caídas por debajo de la presión atmosférica (14.7 psi), lo que puede generar vacío o cavitación, así como la expansión del fluido, que puede aumentar la presión interna.
4. Efectos dinámicos: Considere impacto, viento, sismos y vibraciones.
5. Cargas térmicas: Expansión y contracción debidas a cambios de temperatura.

Los criterios antes mencionados están ampliamente desarrollados en el código de diseño. Sin embargo, no todos ellos son objeto de estudio del presente trabajo. A continuación, se desarrollarán los puntos importantes para el análisis de flexibilidad en según el código de diseño.

El código de diseño agrupa los tipos de fallas como se mencionan a continuación:

- Fallas por excesivos esfuerzos externos e internos: estas fallas ocurren cuando las fuerzas aplicadas a un material superan su resistencia estructural, tanto desde el exterior como desde el interior del componente. Pueden ser causadas por sobrecargas repentinas, impactos o presiones excesivas.
- Fallas por fragilización: se produce cuando un material se vuelve frágil y quebradizo debido a procesos como la corrosión, la exposición a temperaturas extremas o la presencia de sustancias químicas agresivas. La fragilización debilita la integridad del material, haciendo que se fracture fácilmente bajo cargas normales de funcionamiento.
- Fallas por excesiva deformación plástica: ocurren cuando un material experimenta deformaciones permanentes excesivas debido a cargas que exceden su límite elástico. Esto puede resultar en cambios irreversibles en la forma o estructura del material, comprometiendo su funcionalidad y resistencia.
- Falla por inestabilidad plástica: se origina cuando un material sometido a cargas experimenta una deformación plástica continua que conduce a un colapso repentino e incontrolado. Puede ocurrir debido a defectos de fabricación, diseño inadecuado o cargas inesperadas.
- Falla por fatiga: estas fallas son el resultado de la acumulación gradual de daño en un material debido a cargas cíclicas repetidas, incluso si están por debajo del límite de resistencia del material. Con el tiempo, esta acumulación de daño debilita el material, lo que finalmente resulta en fractura, a menudo de manera súbita e inesperada.

El origen de estas fallas son esfuerzos de diferentes tipos, esta clasificación de esfuerzos permite establecer límites de diseño y clasificar de manera más ordenada los tipos de fallas descritos anteriormente. Continuando con este punto, es esencial recordar la teoría de esfuerzos, es un concepto fundamental en la ingeniería de materiales y mecánica de sólidos, ya que estudia cómo se distribuyen las fuerzas internas en un material cuando está sometido a cargas externas. Se basa en principios físicos y matemáticos para analizar cómo estas

fuerzas afectan la integridad y el comportamiento del material, incluyendo su resistencia, deformación y eventual falla.

Esta teoría se emplea para comprender la distribución de fuerzas internas en los lazos de expansión, considerando los diversos tipos de esfuerzos a los que están expuestas las tuberías. Estos esfuerzos se dividen en dos componentes principales: esfuerzos normales, provocados por fuerzas perpendiculares al área en estudio, y esfuerzos cortantes, generados por fuerzas paralelas al área. Esta clasificación es fundamental para entender cómo los lazos de expansión reaccionan ante cargas externas, como la expansión térmica de las tuberías. Al adherirse a los estándares del Código ASME B31.3, se garantiza la integridad estructural y el óptimo rendimiento de los lazos de expansión, lo que minimiza el riesgo de fallas y asegura la seguridad del sistema de tuberías. [7].

## **2.6 Análisis de esfuerzos**

El análisis de esfuerzos constituye una herramienta fundamental en la ingeniería, ya que permite evaluar los esfuerzos y deformaciones internas que se generan en materiales y estructuras ante la aplicación de cargas. Este proceso es esencial para determinar la seguridad, confiabilidad y vida útil de los componentes, garantizando que cumplan con los requisitos de diseño y normativos vigentes.

### **2.6.1 Análisis de flexibilidad**

La flexibilidad es la capacidad de los sistemas de tuberías de expandirse y/o contraerse hasta llegar a deformarse (dentro del límite elástico del material), bajo efectos térmicos, sostenidos y ocasionales, sin que se generen efectos dañinos en soportes, estructuras, equipos, o en el propio sistema de tuberías. El análisis de flexibilidad se realiza para:

- Evitar esfuerzos excesivos en las tuberías, equipos y soportes.
- Evitar fugas en juntas bridadas.
- Evitar deformaciones excesivas en boquillas de equipos, tuberías, entre otros.

Todo esto queda resumido en garantizar la integridad mecánica del sistema de tuberías como tal y de los equipos asociados, de este modo, también garantiza la integridad del personal que opera dichos sistemas.

### 2.6.2 Esfuerzos en tuberías

El análisis de flexibilidad en tuberías utilizando el software CAESAR II es un proceso crucial en la ingeniería de tuberías. Consiste en evaluar la capacidad de un sistema de tuberías para soportar cargas térmicas, de presión y de movimiento, asegurando que la tubería no exceda los límites de esfuerzo permitidos, tal como se explicó anteriormente.

Uno de los elementos importantes que se tienen en cuenta durante este análisis son los lazos de expansión (basándonos en la propuesta que se plantea en este trabajo de investigación), diseñados para absorber las expansiones y contracciones térmicas de la tubería, evitando así que se generen esfuerzos excesivos que puedan provocar fallas en el sistema (Como se expusieron anteriormente). Este software permite realizar estos análisis de manera precisa y eficiente, garantizando el diseño de sistemas de tuberías seguros y eficientes.

A diferencia de los métodos simplificados, los programas de computación permiten llevar a cabo un análisis preciso de los esfuerzos y cargas aplicadas en la tubería en un tiempo reducido y sin verse limitados por la configuración del sistema. La formulación matemática se basa en el teorema de Castigliano, que relaciona la energía de deformación con las fuerzas y momentos en el sistema de tuberías. Este se modela como un voladizo en un punto fijo, y los momentos y fuerzas necesarios para producir los movimientos especificados en los soportes se obtienen mediante la solución de un sistema de ecuaciones simultáneas. Se asume la proporcionalidad entre los esfuerzos y las deformaciones, considerando deflexiones pequeñas.

Es conveniente acotar que las normas ANSI (American National Standard Institute), mencionan cuatro tipos de esfuerzos que deben ser verificados para asegurar que no ocurran fallas en las tuberías debido a esfuerzos excesivos.

El primero es el esfuerzo circunferencial debido a la presión, la verificación de este esfuerzo debe ser llevada a cabo por el grupo que elabora las especificaciones de tuberías. Este cálculo lo efectúa el grupo de ingenieros que hacen las especificaciones de tuberías, específicamente el grupo de materiales.

Por otra parte, los esfuerzos que ha de verificar el grupo de flexibilidad son:

### 2.6.2.1 Esfuerzos primarios o sostenidos

Son aquellos esfuerzos longitudinales que se producen por cargas sostenidas, tales como: pesos de la tubería, aislamiento, fluido, fuerzas (concentradas o distribuidas), momentos aplicados y presión.

A su vez, comprenden a la suma de los esfuerzos longitudinales producidos por los siguientes factores:

- Peso: incluye el peso de la tubería, el peso del fluido que transporta y el peso del aislamiento de la tubería, si lo hubiera.
- Presión: se refiere a la fuerza ejercida sobre las paredes de la tubería debido al fluido que fluye a través de ella. La presión es un factor crítico a considerar en el diseño y la operación segura de sistemas de tuberías.
 
$$S_L = A \frac{P D_e}{4t} + B \frac{i M_a}{Z} \leq C S_h$$
- Fuerzas y momentos: son las cargas aplicadas sobre la tubería. Esto incluye los esfuerzos de aro, que son predominantemente considerados durante la selección del espesor de la tubería para garantizar su resistencia adecuada.

Las principales características de los esfuerzos primarios son las siguientes: Los esfuerzos primarios excesivamente elevados pueden producir una deformación plástica y la ruptura del material, los esfuerzos primarios no son autolimitantes, es decir, una vez que comienza la deformación plástica esta continúa avanzando hasta que se logre un equilibrio de las fuerzas o hasta que ocurra una falla del material, normalmente no son de naturaleza cíclica, las cargas más frecuentes para los esfuerzos primarios o sostenidos son la presión y el peso, los límites admisibles para los esfuerzos sostenidos son usualmente referidos al esfuerzo de fluencia (o sea el punto donde comienzan las deformaciones plásticas) o al esfuerzo último del material y dependen de la temperatura de operación.

Estos esfuerzos deben ser compararse con el esfuerzo en caliente,  $S_h$ . Este esfuerzo  $S_h$  debe buscarse en el código correspondiente. (Algunos códigos pueden usar el  $S_y$  en vez de  $S_h$ , donde  $S_y$  representa el esfuerzo máximo fluencia). La ecuación que se debe cumplirse para los esfuerzos longitudinales

tiene la siguiente forma, tal como se muestra a continuación:

(Ec. 2.3)

Dónde:

- $S_L$  es la suma de todos los esfuerzos longitudinales debido a la presión, el peso y otras cargas sometidas ( $\text{lb/pulg}^2$ ).
- $A, B$  y  $C$  son factores numéricos que dependen del código a usar (son adimensionales).
- $P$  es la presión interna del diseño ( $\text{lb/pulg}^2$ ).
- $D_e$  es el diámetro externo de la tubería (pulg), dependiendo del código, se debe emplear un espesor nominal o el nominal menos la corrosión, erosión y tolerancia.
- $i$  es el factor de intensificación de esfuerzos en el punto donde evalúa el momento (adimensional).
- $M_A$  es el momento resultante de las cargas sometidas ( $\text{Lb} \cdot \text{pulg}$ ).
- $Z$  es el modulo de sección de la tubería ( $\text{pulg}^3$ )
- $S_h$  es el esfuerzo máximo admisible a la temperatura del diseño (psi).

Por ejemplo, en el código más utilizado, el B31.3, los valores de A, B y C son idénticos. Estos factores no aparecen explícitamente en los códigos.

#### 2.6.2.2 Esfuerzos de expansión o secundarios

Son aquellos producidos por las reacciones que se generan en las restricciones (guías, anclajes, entre otros) impuestas al sistema de tuberías ante la expansión o contracción del material debido a los cambios de temperatura en dicho sistema. Se pueden controlar variando el diseño para que el sistema sea más flexible (haciendo lazos o alargando brazos), reubicando también soportes como guías y límites direccionales o usando elementos elásticos (juntas de expansión).

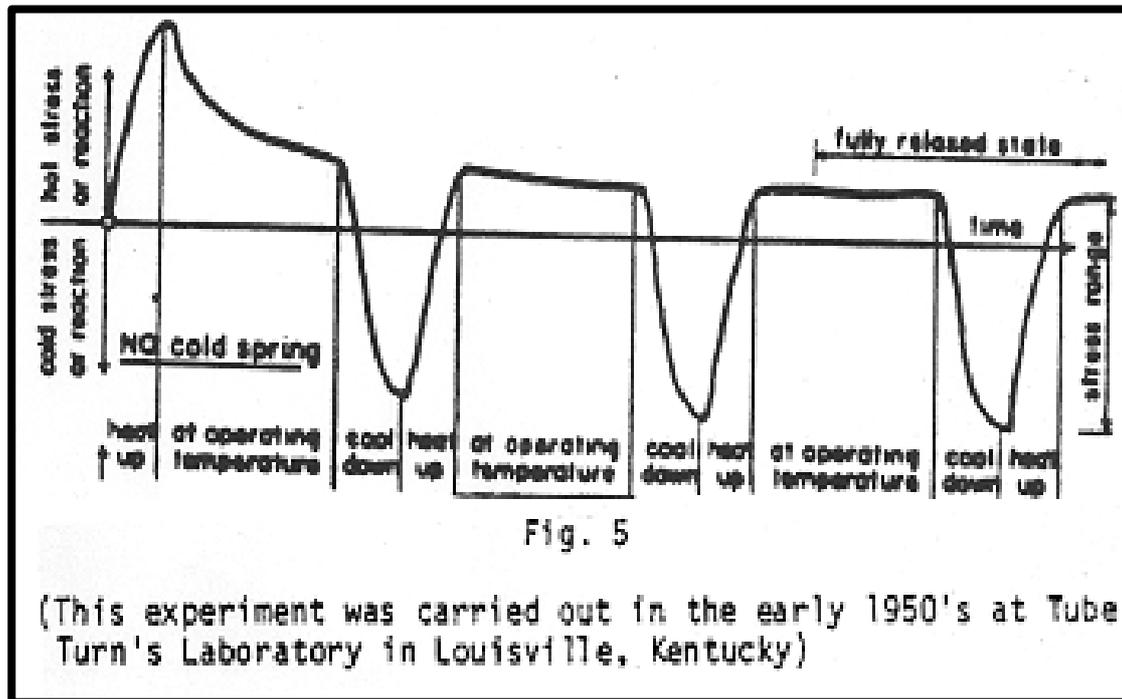
Las características de los esfuerzos secundarios son las siguientes:

- Los esfuerzos secundarios son cíclicos, y se llaman auto limitantes, ya que ellos se alivian en un lapso de tiempo determinado debido a la relajación térmica del material. Pueden producir fallas en el material, usualmente

después de un número elevado de aplicaciones de la carga (El hecho de que un sistema haya estado funcionando por años no indica que haya sido bien diseñado a fatiga).

- Producen la creación de pequeñas grietas en las superficies interiores o exteriores de las tuberías que presentan imperfecciones o defectos, los materiales frágiles son mucho más susceptibles, las superficies corroídas sirven como intensificadores de los esfuerzos y como puntos de iniciación de grietas, la corrosión junto a los ciclos de esfuerzos secundarios producen un deterioro mayor en las tuberías, las soldaduras irregulares o con porosidades también son puntos de intensificación de los esfuerzos secundarios, con lo que se reducen los ciclos para la fatiga.
- El estudio de flexibilidad suele utilizar el espesor del material, restándole el espesor por corrosión y la tolerancia de fabricación. A su vez tomando en consideración el factor de soldadura (sí la tubería es soldada), para hacer estudios más reales y seguros. El esfuerzo permisible para este tipo de esfuerzo según el código ASME está asociado directamente con el  $S_a$ , también conocido como Rango permisible de esfuerzo por desplazamiento. Está basado en los valores del esfuerzo básico tanto  $S_c$  como  $S_h$  (en sus variaciones según la temperatura) multiplicado por un factor cíclico o de fatiga. Más adelante se presenta su fórmula de cálculo.

Para comprender fácilmente el valor de este rango permisible es conveniente entender el siguiente experimento. Cuando un material se calienta y enfría experimenta un comportamiento como el mostrado en la Figura 2.17:



**Figura 2.17** Estudio experimental de un lazo de expansión en los años 50 [9].

El lazo fue sometido a ciclos de calentamiento y enfriamiento desde temperatura ambiente hasta temperaturas de 510°C (950°F) y viceversa. De la Figura 2.17 se puede observar que:

- El esfuerzo inicial alcanzado al calentar el lazo disminuye con el tiempo.
- El esfuerzo reaparece al enfriar el lazo, pero con signo opuesto.

Al cabo de unos pocos ciclos, los esfuerzos obtenidos en caliente y en frío no varían al incrementar el número de ciclos. De este experimento se sacaron las siguientes definiciones:

- Rango máximo de esfuerzos es la suma absoluta de los valores máximo y mínimos observados en la gráfica anterior durante el primer ciclo de calentamiento- enfriamiento.
- Rango de esfuerzos es suma absoluta de los valores máximo y mínimo una vez que el material se ha relajado completamente al cabo de varios ciclos de calentamiento-enfriamiento.

- Rango admisible de esfuerzos es un porcentaje del valor del rango de esfuerzos.

La norma ASME define el rango admisible de esfuerzos como:

$$S_a = f \cdot (1.25 \cdot S_c + 0.25 \cdot S_h) \quad (\text{Ec. 2.4})$$

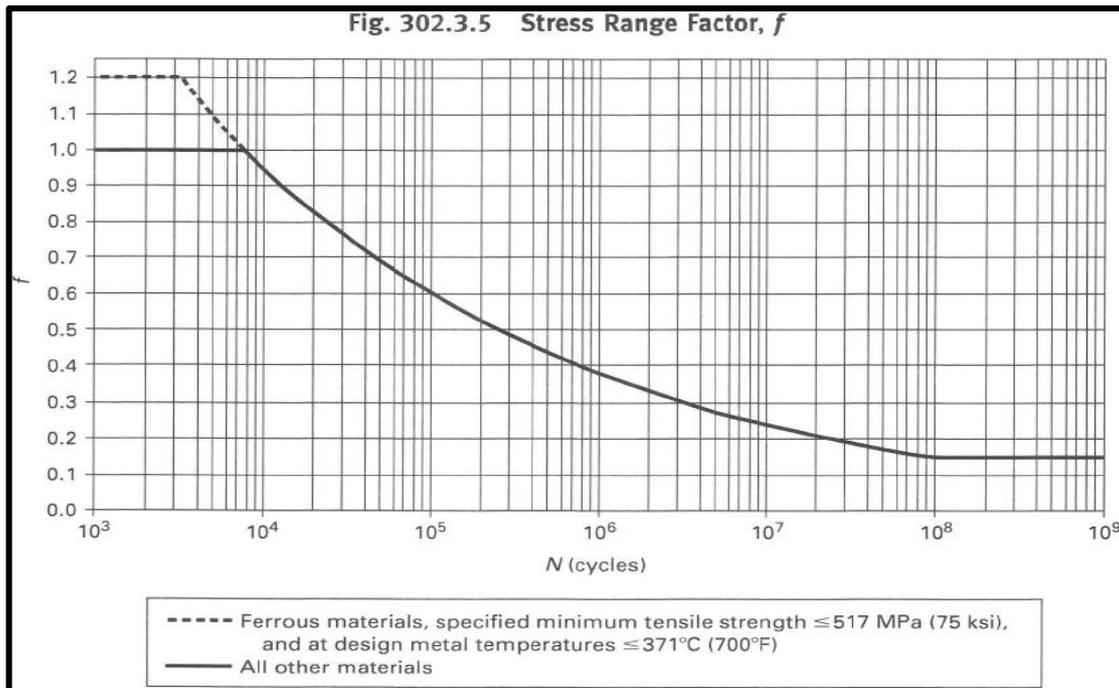
Dónde:

- F es el factor para cuantificar el efecto cíclico (adimensional).
- $S_c$  es el esfuerzo básico admisible a temperatura ambiente (lb/pulg<sup>2</sup>).
- $S_h$  es el esfuerzo básico admisible a la temperatura de estudio (lb/pulg<sup>2</sup>).

Sí  $S_h > S_l$ , la diferencia entre ellos puede ser añadida al término  $0.25S_h$  [9].

#### 2.6.2.3 Factor de corrección "f"

El factor cíclico, también conocido como factor de fatiga, es un parámetro fundamental en el análisis de sistemas sujetos a esfuerzos repetitivos o cíclicos. Este factor se utiliza para evaluar la resistencia del material frente a condiciones de carga fluctuante que podrían provocar fallas por fatiga a lo largo del tiempo. Según lo establecido en la norma B31.3, su determinación se basa en una gráfica específica que relaciona las características del material, el número de ciclos y las condiciones de operación, proporcionando una guía técnica para garantizar la seguridad y confiabilidad del diseño. Esto se puede observar en la Figura 2.18. Su correcta aplicación permite predecir la vida útil del sistema, especialmente en componentes expuestos a variaciones térmicas y presiones intermitentes. De este modo, se contribuye a minimizar riesgos operacionales y a extender la durabilidad estructural del sistema analizado.



**Figura 2.18** Factor de corrección “f” [10].

Dónde:

- $f$  es el factor cíclico representado de la función  $f = 6.0(N)^{-0.2} \leq f_m$  (adimensional).
- $f_m$  es el valor máximo tomado por  $f$  igual a 1.2 (única y exclusivamente) para materiales féreos que posean un  $S_u \leq 517$  MPa (75 ksi) y cuya temperatura del metal sea  $\leq 370$  °C (700 °F), es adimensional.
- $N$  es el número equivalente de ciclos que se producirán durante la vida útil de la instalación (adimensional).

Cuando un sistema de tuberías esté expuesto a más de un modo de operación, se tomará como esfuerzo calculado  $S_E$ , al mayor valor de todos los valores de esfuerzo que se calculen, y el número de ciclos equivalentes se calculará como la sumatoria de los ciclos que se produzcan para cada modo de operación. Posteriormente, tenemos a:

$$N = N_E + \sum (r_i 5 N_i) \text{ para } i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Dónde:

- $N_E$  es el número de ciclos para el primer modo de operación con el cual se calculó el  $S_E$  (adimensional).

- $N_i$  es el número de ciclos asociado a cualquier otro esfuerzo calculado (adimensional).
- $r_i$  será igual a  $S_i / S_E$  (adimensional).
- $S_i$  cualquier esfuerzo menor al  $S_E$  (lb/pulg<sup>2</sup>).

Finalmente encontramos que vamos a comparar el esfuerzo calculado  $S_E$  con el rango admisible de esfuerzos  $S_a$ . Y debe cumplirse que:

$$S_E < S_a \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Dónde:

- $S_E$  es el esfuerzo generado por la expansión térmica, (lb/pulg<sup>2</sup>).
- $S_A$  es el rango del esfuerzo admisible para los esfuerzos generados por dilatación térmica (esfuerzo térmico admisible). (lb/pulg<sup>2</sup>).

Según la norma ASME B31.3 el esfuerzo calculado  $S_E$  se calcula por la siguiente fórmula:

$$S_E = \sqrt{S_b^2 + 4 S_t^2} \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Dónde:

- $S_b$  es la resultante de todos los esfuerzos por flexión tanto en codos, codos mitrados, té y conexiones a ramales (lb/pulg<sup>2</sup>).
- $S_t$  es el esfuerzo torsional (lb/pulg<sup>2</sup>).

#### 2.6.2.4 Factor de intensificación de esfuerzos

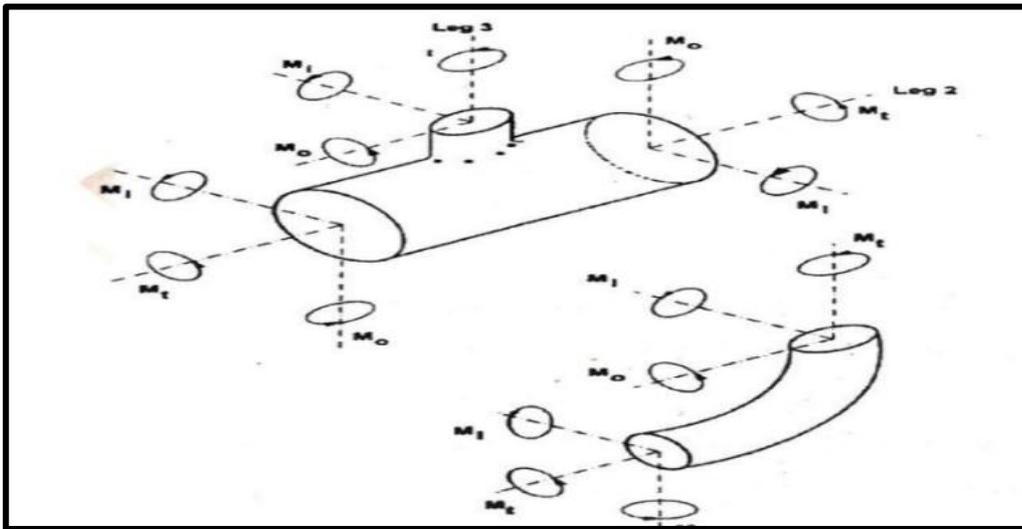
El Factor de Intensificación de Esfuerzos (SIF, por sus siglas en inglés) para un componente de tubería se define como la relación entre el esfuerzo necesario para inducir la falla por fatiga en n número de ciclos para un componente de referencia y el esfuerzo requerido para producir la falla por fatiga en el mismo número de ciclos en el componente en estudio. Este factor se utiliza como medida de seguridad para los componentes de tubería donde pueden ocurrir fallas debido a esfuerzos locales o por fatiga. Se calcula mediante métodos experimentales y nunca tiene valores inferiores a 1.

Además, es importante destacar que la norma B31.3 establece diferentes valores de SIF para aplicar a los momentos flexores "en el plano" ( $M_i$ ) y a los

momentos flexores "fuera del plano" ( $M_o$ ). Sin embargo, no se aplica ningún SIF al momento torsor como podemos visualizar en la figura 2.19 [10].

#### 2.6.2.5 Esfuerzos ocasionales

Son aquellos producidos por causas excepcionales como son: Movimientos sísmicos, golpe de ariete, viento, vibraciones, descarga de válvulas de alivio, etc. Usualmente los códigos indican que, para evaluar los esfuerzos ocasionales, estos deben ser sumados a los esfuerzos producidos por las cargas sostenidas,



**Figura 2.19** Momentos en codos y conexiones en T [10].

y comparar estos esfuerzos totales con el esfuerzo admisible incrementado en un porcentaje que depende del código utilizado.

### 2.7 Tipo de análisis (categorías de tuberías)

El primer paso en un análisis de flexibilidad es determinar las condiciones a las que se someterá el sistema de tuberías. Posteriormente, se selecciona el tipo de análisis requerido, dependiendo del servicio de la línea (crítico o no crítico) y de su grado de complejidad. Esta elección es crucial para asegurar un diseño óptimo

del sistema de tuberías, considerando adecuadamente las condiciones de operación y las necesidades específicas de la instalación.

#### 2.7.1 Categoría I

Las líneas de esta categoría, consideradas críticas, requieren análisis especializado para establecer la filosofía de análisis y soportaría con anticipación.

Incluyen:

- Líneas de alta temperatura con una temperatura de diseño del metal que excede los 1000 °F.
- Tuberías con un diámetro superior a 48".
- Líneas diseñadas para más de 22000 ciclos.
- Líneas para fluidos categoría M según ANSI/ASME B31.3.
- Líneas de alta presión que superan los límites de presión establecidos por ANSI B16.5 Class 2500 para la temperatura y presión de diseño específicas.

#### 2.7.2 Categoría II

Las líneas de esta categoría requieren obligatoriamente análisis por computadora debido a su tamaño, temperatura o conexión con equipos sensibles. Incluyen:

- Líneas conectadas a bombas y compresores reciprocantes, bombas y compresores centrífugos y turbinas, con diámetro igual o mayor a 3" y temperatura igual o superior a 65 °C o igual o menor a 6 °C.
- Líneas conectadas a bombas y compresores con diámetro igual o mayor a 12" y temperatura igual o superior a 50 °C o igual o menor a 6 °C.
- Líneas a enfriadores por aire.
- Líneas conectadas a recipientes según ASME Sección VIII División 2.
- Líneas conectadas a hornos o calentadores de llama directa.
- Líneas conectadas a equipos de aluminio.
- Líneas conectadas a cajas frías.
- Líneas sometidas a vibraciones.
- Líneas sometidas a cargas ocasionales significativas que requieren un análisis dinámico.

### 2.7.3 Categoría III

Las líneas en esta categoría deben ser analizadas obligatoriamente, aunque el análisis puede realizarse mediante métodos manuales. Esto incluye:

- Todas las líneas conectadas a equipos sensibles mencionados en la Categoría II que no hayan sido incluidas en esta categoría debido a su tamaño y temperatura.
- Todas las líneas clasificadas como Power Plant Piping según el código ANSI/ASME B31.1.
- Todas las líneas designadas según la Figura 2.4 que no estén contempladas en las categorías I y II.

Es importante tener en cuenta que el cálculo manual no debe utilizarse para rechazar el diseño de una línea. En su lugar, puede emplearse para reubicar soportes o realizar cambios en la ruta. El rechazo del diseño o la imposibilidad del mismo deben derivar de un estudio detallado realizado por computadora.

### 2.7.4 Categoría IV

Las líneas de esta categoría requieren inspección visual y son las siguientes:

- Líneas que son duplicados o reemplazos de existentes sin cambios significativos, que han funcionado sin problemas en el pasado.
- Líneas que pueden considerarse adecuadas mediante comparación con sistemas previamente analizados [11].

## 2.8 Localización inicial de soportes

Según la normativa interna, PDVSA-HG-252, donde se explican “Los criterios de diseño y esfuerzos en los sistemas de tuberías”, la localización inicial de los soportes debe realizarse con cuidado, ya que una vez completado el análisis de la tubería, ningún soporte podrá ser movido de su posición sin causar cambios significativos en los niveles de esfuerzos en la tubería o alterar las reacciones sobre los equipos adyacentes al soporte cambiado. Esto probablemente requerirá un nuevo análisis, para la localización inicial de los soportes en los distintos sistemas de tuberías, donde se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los soportes de tubería deben instalarse lo más cerca posible de cargas concentradas, como válvulas y bridas.
- La ubicación de los soportes no debe interferir con los requisitos de mantenimiento.

Desde el punto de vista de los esfuerzos en la tubería y por razones económicas, el mejor lugar para colocar un soporte es directamente en el equipo. Sin embargo, esta ubicación puede presentar dificultades debido a las restricciones causadas por los componentes del equipo, las limitaciones en su configuración, los requisitos del fabricante del equipo o las necesidades de espacio para su operación o mantenimiento.

Es fundamental consultar toda la información disponible y los planos generados por otras disciplinas para evitar interferencias con los requisitos de espacio de electricidad, instrumentación y control, equipos mecánicos y estructuras futuras o existentes. Los sistemas de tuberías de gas o vapor que se someterán a pruebas hidrostáticas deben ser verificados con el peso del agua para determinar si se necesitan más soportes adicionales (temporales o, en el peor de los casos, permanentes) de los que se requerirían con el peso del gas o vapor.

#### 2.8.1 Distancia entre soportes

Según la norma ASME B31.1, es esencial que las tuberías y los equipos asociados cuenten con soportes adecuados para prevenir o mitigar vibraciones excesivas y evitar tensiones indebidas en los equipos conectados. Estos soportes deben instalarse de manera sólida y precisa para garantizar su eficacia en la reducción de vibraciones y la prevención de tensiones no deseadas. Un sistema de tuberías excesivamente restringido por los soportes puede limitar su capacidad de expansión o contracción térmica, lo que resulta en la generación de grandes fuerzas en los puntos de restricción [12].

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se detallan todos los aspectos relacionados con la metodología utilizada, especificando las características esenciales y otros aspectos relevantes de la investigación. La metodología representa un procedimiento lógico para lograr de manera más precisa y acertada los objetivos de la investigación. Los lineamientos metodológicos permitieron comparar la visión teórica del problema y los objetivos planteados con los datos y resultados obtenidos. Entre los aspectos destacados se encuentran: el tipo de investigación, la población, la muestra, los instrumentos y técnicas utilizados en el desarrollo del proyecto, así como el proceso metodológico utilizado para llevar a cabo el análisis de flexibilidad de los sistemas de tuberías en estudio.

#### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación se enmarcó dentro de la categoría de investigación de campo. Los datos, que incluyen planos isométricos de las tuberías, fueron recopilados directamente del área donde se desarrolló la investigación. Además, la empresa proporcionó las estadísticas, normas internas, presiones y temperaturas de operación máximas, así como el tipo de material de las tuberías y las especificaciones de los equipos conectados a las líneas en estudio. Consta de varias etapas, que incluyen el diagnóstico, la formulación y los fundamentos teóricos de la propuesta, el procedimiento metodológico de las actividades, los recursos necesarios para su ejecución, el análisis y las conclusiones sobre su viabilidad.

#### **3.2 Técnicas a utilizar**

Para el desarrollo de este estudio, se emplearon diversas técnicas que permitieron recopilar y analizar información relevante, tal como se muestra, a continuación:

### 3.2.1 Revisión bibliográfica

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica para recopilar información relevante sobre el tema de estudio.

### 3.2.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias se utilizaron como herramienta para recopilar, analizar, interpretar o resumir información obtenida de las fuentes primarias.

### 3.2.3 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a expertos en el área de estudio para obtener información adicional y perspectivas relevantes.

### 3.2.4 Modelado y evaluación del sistema de tuberías

Se utilizó el software especializado de simulación "CAESAR II 2016" para realizar el modelado y la evaluación del sistema de tuberías objeto de estudio.

### 3.2.5 Revisión y modificación de planos isométricos

Se llevaron a cabo revisiones exhaustivas y modificaciones pertinentes en los planos isométricos del sistema de tuberías.

## **3.3 Equipos, materiales, sustancias y herramientas**

### 3.3.1. Equipos utilizados

- Computadora de Escritorio marca HP (procesador Intel Inside CORE i5),
- Calculadora Marca: Hp 50g.
- Impresora EPSON L-3110.
- Pendrive Kingston 32 GB.

### 3.3.2. Equipos de seguridad

- Braga.
- Botas de Seguridad.
- Casco.
- Lentes de protección.
- Guantes tipo Carolina.

### 3.3.3. Materiales

- Escritorio.

- Bolígrafo, lápices, marcadores, resaltadores y colores.
- Hojas blancas, tamaño carta.
- Carpetas.
- Grapadora.
- Sacagrapas.
- Regla.

#### 3.3.4. Sustancias

No Aplica.

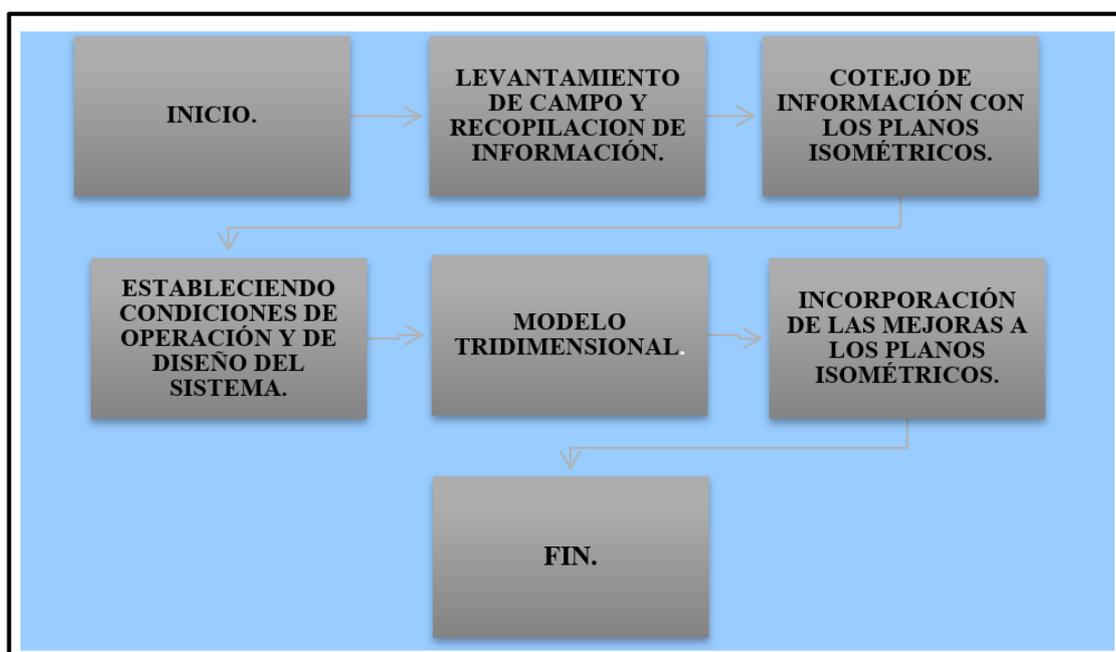
#### 3.3.5. Herramientas empleadas

- Microsoft Windows 7.
- Microsoft Office 2010.
- Software de Simulación CAESAR II 2011.
- Adobe Acrobat Reader 9.0.
- AutoCAD 2010.

Los equipos, materiales y herramientas, antes mencionados se encuentran ubicados en las instalaciones de la superintendencia de Ingeniería de Instalaciones, pertenecientes a la Gerencia Técnica de la Refinería Puerto la Cruz.

### **3.4 Procedimiento metodológico**

El proyecto se llevó a cabo siguiendo un enfoque evaluativo y de aplicación, basado en una exhaustiva investigación documental. Se implementó una secuencia lógica de pasos que generó un procedimiento metodológico detallado. El objetivo fue realizar una propuesta de mejora para reactivar las líneas de succión y descarga de los tanques 250X4, 250X5 y 250X6, mediante la incorporación de unos lazos de expansión. En base a lo mencionado anteriormente, se procedió a realizar un análisis de flexibilidad del sistema de tuberías en estudio. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el software especializado "CAESAR II". El procedimiento metodológico se presenta en el siguiente diagrama (Figura 3.1):



**Figura 3.1 Resumen del procedimiento utilizado para realizar el análisis de esfuerzos**  
**[Fuente: Elaboración propia].**

#### 3.4.1. Inicio

Esta etapa inicial del trabajo abarcó la introducción a la empresa, la definición de objetivos y el establecimiento del alcance del proyecto. Incluye el reconocimiento del área de estudio, que comprende las líneas de succión y descarga de residuos correspondientes a los tanques 250X4, 250X5 y 250X6. Además, se contempló el aprendizaje del manejo del software utilizado y la interpretación de los resultados obtenidos mediante su uso.

#### 3.4.2. Levantamiento y recopilación de información

Para llevar a cabo el levantamiento de información, se siguieron los siguientes pasos durante las inspecciones realizadas:

- Se realizó una revisión visual de la configuración y disposición de las líneas existentes, comparándolas con lo indicado en los Diagramas de Proceso e Instrumentación (P&ID).
- Se recopilaron las características y dimensiones de las líneas y sus accesorios (juntas de expansión, bridas, válvulas, entre otros), así como las condiciones físicas de las líneas y los soportes, y las condiciones adyacentes a los mismos.

- Se efectuaron registros fotográficos (Apéndice A) del estado actual del sistema en estudio.

Para la identificación de las líneas asociadas a los tanques 250X3, 250X6, 250X7 y 250X8, descritas en los informes técnicos suministrados por PDVSA, se utilizó esta información para determinar la clase y tipo de material del cabezal de succión de las líneas con diámetros de  $\varnothing= 34"$  y  $\varnothing= 30"$ , asociadas a los tanques 250X4, 250X5 y 250X6.

La información obtenida de estas fuentes resultó de vital importancia para la adquisición de los conocimientos previos necesarios y los datos requeridos para el desarrollo de este trabajo de grado. Este proceso garantizó que se contara con los fundamentos teóricos adecuados y con datos precisos para llevar a cabo el análisis de flexibilidad y la formulación de conclusiones.

#### 3.4.3 Cotejo de información obtenida con los planos isométricos

En este punto, fue crucial la comparación detallada entre los datos obtenidos en el área de estudio y los planos isométricos respectivos. Estos últimos proporcionaron una representación completa de las líneas de succión y descarga, incluyendo detalles y dimensiones esenciales para una determinación precisa de las variables en estudio.

El cotejo de la información recopilada con los planos isométricos de las líneas de succión y descarga de residual de los tanques de almacenamiento atmosféricos 250X4, 250X5 y 250X6 (Apéndice A), esto permitió verificar la coherencia entre los datos recolectados en el campo y la representación gráfica de la instalación. Además, la información relacionada con los accesorios y especificaciones técnicas, lo cual facilitó el análisis de flexibilidad y la interpretación de los resultados.

#### 3.4.4. Estableciendo condiciones de operación y diseño del sistema

Todo análisis de flexibilidad requiere una revisión exhaustiva de los distintos códigos y normas aplicables. Esta revisión implicó la revisión de los resultados obtenidos con los valores permisibles establecidos por dichas normativas, las cuales regulan en su totalidad la integridad del sistema analizado. En el contexto

de la evaluación del diseño mecánico del sistema de tuberías en líneas, se hace uso de las siguientes normas:

- ASME B31.3 (PROCESS PIPING).
- ASME B 31.1 (POWER PIPING, ESFUERZOS EN BRIDAS).
- PDVSA H-221 (MATERIAL DE TUBERÍAS).
- PDVSA HG-251 (CRITERIOS DE DISEÑO DE SOPORTES PARA TUBERÍAS).
- PDVSA PI-02-08-01 (PRUEBAS HIDROSTÁTICAS Y NEUMÁTICAS PARA SISTEMAS DE TUBERÍAS).

Con estos parámetros de normas establecidos, se realizaron diversas observaciones y análisis que permitieron identificar las condiciones actuales de las líneas de succión y descarga de residual.

### **3.5 Dimensionamiento del lazo de expansión**

Posteriormente, se procedió a dimensionar el lazo de expansión perteneciente a las líneas de succión y descarga para la optimización y restauración operativa de estas tuberías. En el Capítulo 2, se puede observar las bases teóricas empleadas para realizar este dimensionamiento, incluyendo una revisión de los principios de mecánica de fluidos, análisis de tensiones térmicas y las normativas aplicables en el dimensionamiento del lazo de expansión. En el Capítulo 4 se presentaron los cálculos pertinentes, donde se detallan los métodos matemáticos que son requeridos para dimensionar el lazo mediante el uso de nomogramas, así como los resultados obtenidos que demuestran la viabilidad técnica.

Este dimensionamiento se realizó con el propósito de obtener una visión preliminar y verificar su viabilidad antes de proceder con el modelado en el software CAESAR II.

### **3.6 Modelo tridimensional de las líneas de succión y descarga**

Una vez que se recopiló toda la información esencial para construir el modelo computacional de las líneas mediante el software CAESAR II, conforme a la normativa correspondiente (ASME B31.3). Se procedió a incorporar de manera

secuencial todos los elementos que componen el sistema de tuberías, incluyendo tramos de tuberías, codos, válvulas, bridas, soportes, entre otros.

Se consideraron todos los detalles técnicos de las tuberías que formaban parte de las líneas de succión y descarga. Estos detalles incluían, entre otros, el diámetro, el diámetro nominal de las paredes de la tubería, el espesor de corrosión, la temperatura (tanto de operación como de diseño), la presión (de diseño y de prueba hidrostática), el material de la tubería, el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson, el esfuerzo de fluencia, la densidad de la tubería y del fluido, el tipo de soportería, la enumeración de nodos (seccionamiento), así como la inclusión de codos, tees, válvulas, bridas y rígidos (con sus dimensiones y pesos), entre otros aspectos relevantes.

La elaboración del modelo facilitó la observación del comportamiento del sistema en estudio, y la propuesta de mejora fue desarrollada conforme a las especificaciones obtenidas durante el levantamiento de campo y a los datos suministrados por la empresa.

#### 3.6.1 Distribución nodal

Conforme se introdujo la geometría de los sistemas de tuberías (Obtenida del levantamiento de los isométricos o planos de planta), se realizó la segmentación de cada nodo hasta completar los modelos en estudio. Los incrementos entre nodos suelen ser de diez en diez para permitir un margen de error al realizar modificaciones, aunque esta condición no es imperativa. Estos segmentos definieron los tramos a los cuales se aplicaron las ecuaciones de los modelos matemáticos y luego se relacionaron entre sí mediante el programa, formando así el análisis del sistema modelado en general y la propuesta de mejora.

#### **3.6.2 Soportes y restricciones del sistema**

En el sistema de tuberías, los nodos fueron definidos como referencias para la aplicación de restricciones cuando fue necesario. Estos permitieron representar con precisión la configuración del sistema, facilitando la asignación de cargas, soportes y condiciones de contorno en el análisis estructural. Además, se consideraron nodos estratégicos en elementos clave como juntas de expansión,

bridas y válvulas, garantizando una evaluación detallada del comportamiento del sistema bajo diversas condiciones operativas.

### **3.6.3 Análisis estático del sistema**

Para generar el modelo tridimensional de manera precisa se utilizó el software CAESAR II, para realizar la simulación estática. Esta simulación aportó información crucial, como los esfuerzos generados en el sistema, así como los desplazamientos, deflexiones y fuerzas ejercidas por el sistema sobre las restricciones establecidas en el modelo.

En las simulaciones de los sistemas de las líneas de succión y descarga pertenecientes a los tanques de almacenamiento atmosféricos 250X4, 250X5 y 250X6, se evaluaron los siguientes casos generales:

#### 3.6.3.1 Peso del sistema, (W)

Este caso de carga corresponde a la carga gravitacional ejercida por el conjunto de tuberías, incluyendo su propio peso, el del fluido interno, el aislamiento y los accesorios, asegurando que los mismos no superen el 60% del esfuerzo permisible a la temperatura de operación (T1), de acuerdo a PDVSA HG-251. Las ecuaciones empleadas para el cálculo de esfuerzos en el sistema y su límite permisible son iguales a los casos en sostenido descritos a continuación:

Carga por peso del sistema, caso L1 = W

#### 3.6.3.2 Sostenido, (SUS)

Se llevó a cabo la evaluación de las cargas primarias no autolimitantes esperadas durante las condiciones normales de operación y diseño, originadas por los efectos de la presión interna (P) y el peso del fluido transportado, las tuberías y el aislamiento (W).

De acuerdo con el código ASME B31.3, para los casos de carga sostenidos, como el peso propio de la tubería y la presión interna, se realizó un análisis de flexibilidad con el fin de garantizar que los esfuerzos no superaran el 72% del esfuerzo de fluencia del material. Este análisis incluyó el cálculo de esfuerzos inducidos por presión y peso, su comparación con los esfuerzos permitidos y la implementación de ajustes en el diseño mediante la disposición de

soportes, anclajes y elementos de flexibilidad, asegurando así la integridad del sistema de tuberías durante su operación continua.

Para ello, los casos en sostenido evaluados son los siguientes:

- Sostenido-operación, caso  $L2 = W + P1$  = peso del sistema + presión de operación.
- Sostenido-diseño, caso  $L3 = W + P2$  = peso del sistema + presión de diseño.

#### 3.6.3.3 Prueba hidrostática, (HYP)

Las condiciones de prueba hidrostática fueron consideradas una carga primaria de tipo ocasional, evaluada de manera similar a los casos de carga sostenida para tuberías "no restringidas". Sin embargo, a diferencia de estos casos, las cargas impuestas durante la prueba involucraron el peso y la presión del fluido de prueba (agua), en lugar del peso y la presión del fluido de operación.

- Prueba hidrostática caso  $L4 = WW + HP$  = peso con tubería llena de agua + presión de prueba hidrostática.

#### 3.6.3.4 Operacional, (OPE)

El código ASME B31.3 establece que, para los casos de carga operacional, que incluyen tanto las cargas sostenidas como las adicionales derivadas de la expansión térmica y las fuerzas dinámicas, se debía realizar un análisis para garantizar que los esfuerzos no superaran el 90% del esfuerzo de fluencia del material. Este análisis consideró los esfuerzos combinados originados por la presión, el peso, la expansión térmica y otras cargas dinámicas, comparándolas con los límites permisibles y ajustando el diseño mediante la incorporación de soportes, anclajes y elementos de flexibilidad, con el objetivo de preservar la integridad del sistema de tuberías durante su operación normal.

Los casos de cargas incluidos en este renglón son:

- Condiciones de operación, caso  $L5 = W + P1 + T1$  = Peso del sistema + Presión de operación + Temperatura de operación.
- Condiciones de diseño, caso  $L6 = W + P2 + T2$  = Peso del sistema + Presión de diseño + Temperatura de diseño.

### 3.6.3.5 Expansión térmica, (EXP)

Para los casos de expansión térmica, se procedió a realizar un análisis para asegurar que las tensiones resultantes de la expansión térmica combinada con otras cargas no excedan el 100% del esfuerzo de fluencia del material, según lo establece el código ASME B31.3. Este análisis incluyó calcular los esfuerzos debido a la expansión térmica y otras cargas operacionales, compararlas con los límites permisibles, y ajustar el diseño mediante la inclusión de elementos de flexibilidad, como codos y bucles de expansión, para mantener la integridad del sistema de tuberías durante los cambios de temperatura. De este modo, se crearon los siguientes casos:

- Expansión en condiciones de operación, caso L8 = L5 – L2 = Condiciones de operación – Sostenido operación.
- Expansión en condiciones de diseño, caso L9 = L6 – L3 = Condiciones de diseño – Sostenido diseño.

### 3.6.3.6 Evaluación de los esfuerzos

Después de realizar la simulación con la herramienta computacional CAESAR II, se obtuvieron los valores de los esfuerzos de flexión, torsión y resultantes a lo largo del sistema de tuberías. Estos valores se calcularon según las ecuaciones de la norma ASME B31.3 y se compararon con los esfuerzos admisibles para el material de la tubería especificado, lo que resalta la importancia de la correcta especificación del material y del código de uso. Seguidamente, se les determinó así un porcentaje de carga de trabajo para evaluar el diseño mecánico del sistema de tuberías. La evaluación de esfuerzos se realizó para casos de prueba hidrostática, sostenimiento y expansión térmica.

## **3.7. Incorporación de las mejoras a los planos isométricos.**

Finalmente, tras implementar los cambios propuestos y evaluar satisfactoriamente los resultados, se incorporaron a los planos isométricos definitivos, disponibles en el Apéndice D. Estos planos reflejan las mejoras realizadas en las líneas estudiadas, resaltando la importancia del análisis de esfuerzos para garantizar la integridad estructural, el correcto funcionamiento y la seguridad de las líneas de

succión y descarga de residuales asociadas a los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6, con el objetivo de optimizar su operatividad.

Además, en el Anexo "D" se presentó una descripción detallada del procedimiento de mejora para la instalación del lazo de expansión, conjuntamente con el soporte idóneo para incorporación de esta propuesta en las líneas de succión y descarga. En el Anexo "E" se incluye la lista de materiales, y finalmente, en el Anexo "F" se encuentran los cálculos métricos necesarios para la integración de la mejora y la posterior reactivación de las líneas de succión y descarga pertenecientes a la batería de tanques.

## **CAPITULO IV. ANALISIS Y RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los análisis y evaluaciones del sistema de succión y descarga. Los resultados obtenidos fueron expuestos a través de tablas y figuras, las cuales fueron analizadas, comparadas y utilizadas para fundamentar la propuesta de mejora en el sistema.

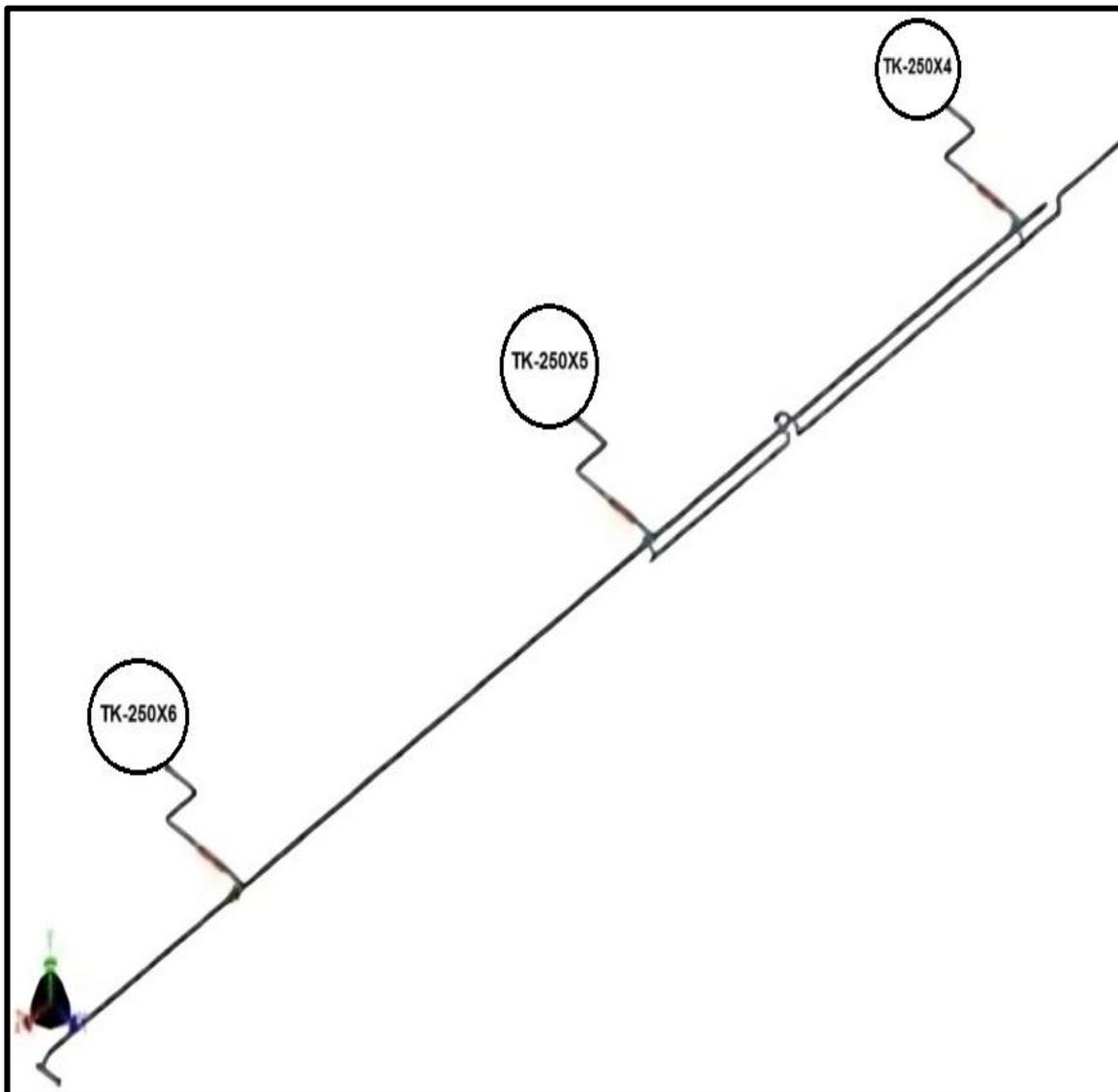
El estudio incluyó una comparación del comportamiento de las líneas con y sin la incorporación de lazos de expansión, con el propósito de evaluar su viabilidad. Asimismo, se examinaron los esfuerzos, las cargas en las restricciones y los desplazamientos en ambos modelos: el original y el modificado.

El análisis comenzó con una descripción del sistema original y su estado actual, a partir de lo cual se llevaron a cabo los estudios correspondientes.

### **4.1 Descripción del sistema**

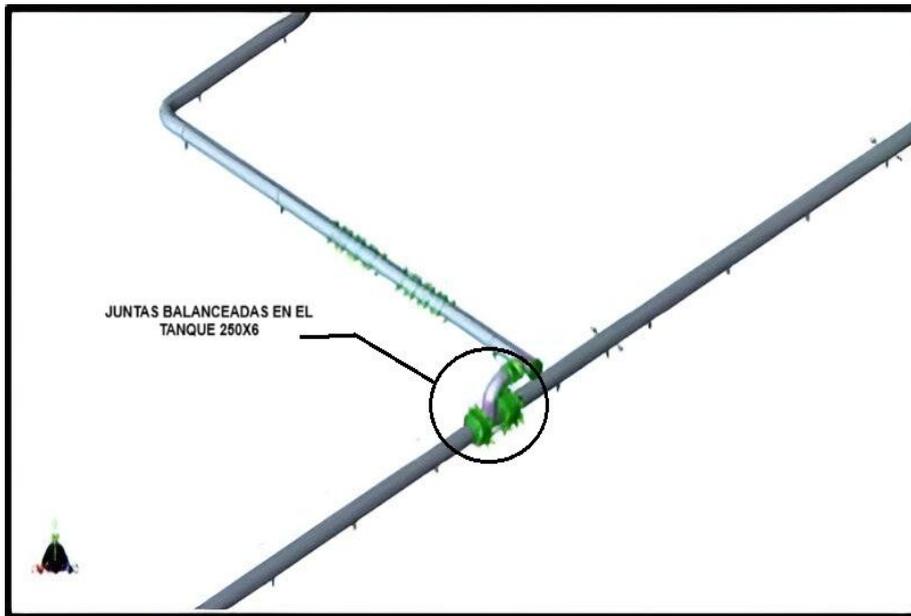
Los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6 forman parte de la Refinería Puerto La Cruz, cada uno posee una capacidad de 250.000 barriles. Estos tanques están interconectados por un sistema de tuberías que abarcan 650 metros lineales, y su función principal es almacenar residuos provenientes de las plantas de destilación y tratamiento de producto.

El abastecimiento se realiza a través de las líneas de succión y descarga de residual, conformadas por una tubería de 34" y otra de 30", que se conectan al múltiple de cada tanque. Este sistema cuenta con tres múltiples, uno por cada tanque, con una reducción de 34" a 30", donde el cabezal principal es de 34", destinado al despacho de residual. Este fue diseñado con cuatro juntas de expansión, distribuidas en dos juntas balanceadas en los tanques 250X4 y 250X6. Sin embargo, el tanque 250X5 no contaba con juntas de expansión, ya que actuaba como tope de desplazamiento del sistema de tuberías. En la figura 4.1 se muestra un modelo tridimensional del sistema, donde se puede apreciar cómo estaba diseñado originalmente.

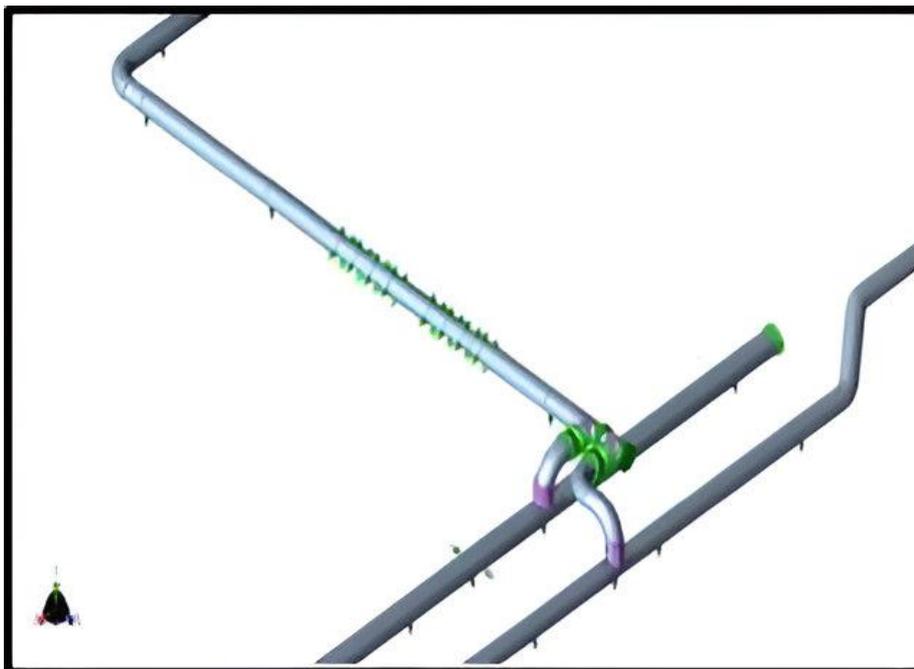


**Figura 4.1** Modelo original del sistema [Fuente CAESAR II 2011].

Para una mejor comprensión, se detalló, el diseño de los pasos hacia los diques de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6 de las líneas de succión y descarga de residual. En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se resaltan las conexiones mencionadas, incluidas las juntas de expansión, esto facilitó una visión integral del funcionamiento del sistema.

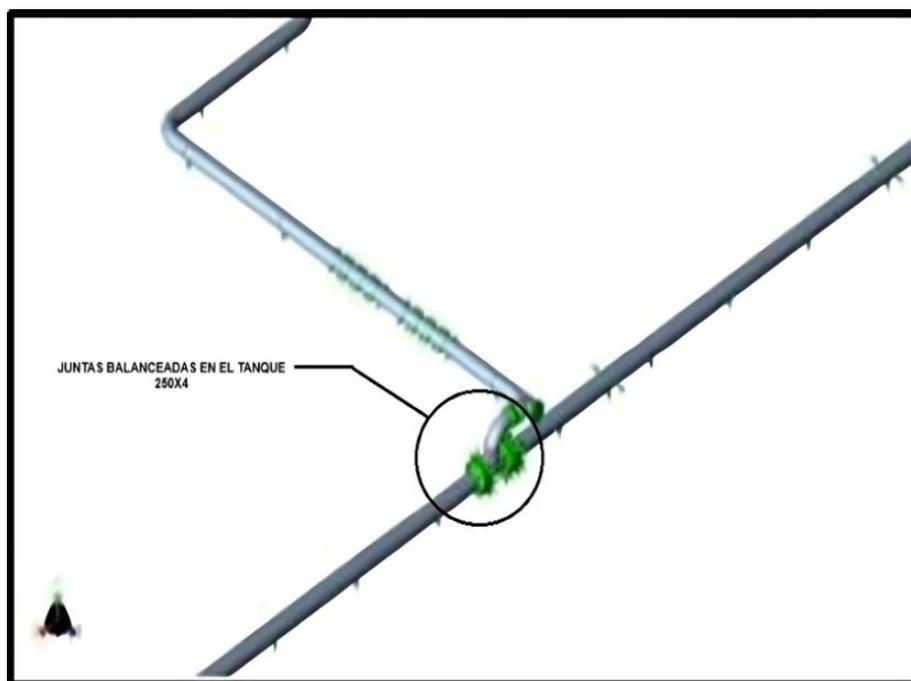


**Figura 4.2** Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X6, donde se visualizan las juntas balanceadas [Fuente CAESAR II 2011].



**Figura**

**4.3** Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X5 [Fuente CAESAR II 2011].



**Figura 4.4** Pase de diques del tanque de almacenamiento 250X4, donde se visualizan las juntas balanceadas [Fuente CAESAR II 2016].

#### **4.2 Situación operacional actual de las líneas de succión y descarga de residual.**

Las líneas de succión y descarga no cuentan con una junta de expansión en el múltiple asociado al tanque 250X4, lo que impidió la alineación completa del cabezal de 34", resultando en la inoperatividad de dicho tanque. No obstante, se observó que el cabezal de 34" finalizaba en el tanque 250X4 con una brida ciega.

De manera similar, el ramal reductor de 34" hacia el tanque 250X5 carece de juntas de expansión, al igual que los tanques 250X4 y 250X6. Si bien los soportes de los cabezales de 30" y 34" se encontraban en buen estado, se observó la ausencia de accesorios en algunos tramos de las líneas, así como también la falta de pernos y tuercas en ciertas válvulas, lo que evidencia que algunas líneas y válvulas no se encuentran operativas.

Al comparar las condiciones de las líneas en sitio con los informes técnicos suministrados por PDVSA, se detectaron discrepancias. (En el Apéndice A se presentan los registros fotográficos, y en el Apéndice B, los planos isométricos originales).

Por ello, se realizó un análisis de esfuerzo y flexibilidad hasta el punto de conexión del cabezal de 34" con el cabezal principal de residual. Además, se incluyó en el estudio el cabezal de 30", proveniente de la Casa de Bombas, el cual estaba conectado al cabezal de 34". Para este análisis, fue necesario definir las especificaciones del sistema, las cuales se detallan en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Especificaciones del sistema [Fuente: Elaboración propia].

CONDICIONES OPERACIONALES Y DE DISEÑO DEL SISTEMA				
T ambiente (°F)	T1 (°F)	P1 (psi)	T2 (°F)	P2 (psi)
82,4	180	120	200	150

Además, fue preciso considerar las propiedades del suelo para la evaluación de las líneas de succión y descarga que atraviesan los diques de los tanques correspondientes, esta información fue suministrada por el personal especializado de PDVSA, tal como se aprecia en la tabla 4.2:

**Tabla 4.2** Propiedades del suelo [Fuente: Elaboración propia].

PROPIEDAD	MAGNITUD
Coeficiente de Fricción	0.5
Densidad del suelo (lb/pulg <sup>3</sup> )	0.0578759
Ángulo de fricción (grados)	30
Profundidad de la tubería (mm)	3000

También fue necesario determinar el tipo de tubería para incorporarlo en el modelo tridimensional, por tal motivo, se procedió a tomar mediciones de espesores.

#### 4.2 Medición de espesores en los cabezales

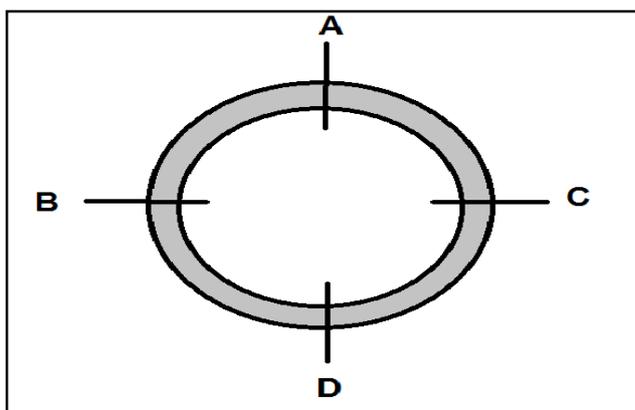
En la Tabla 4.3 se detallan las mediciones obtenidas en nueve puntos estratégicamente seleccionados a lo largo de los cabezales de 30" y 34" asociados a los tanques de almacenamiento. Estas mediciones se realizaron con el propósito de evaluar las condiciones operativas y estructurales de las líneas. En particular, se llevaron a cabo en las tuberías principales de 30" y 34",

localizadas en los múltiples de distribución de los cabezales, que desempeñan un papel esencial para dirigir el residual hacia los tanques de almacenamiento.

**Tabla 4.3** Medición de espesores en los cabezales de 30" y 34" correspondientes a las líneas de succión y descarga [Fuente: Elaboración propia].

PUNTO DE MEDICIÓN	DIÁMETRO (pulg)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
1	30	9,94	9,95	10,08	9,96
2	30	9,97	9,9	10,03	10,01
3	34	9,76	9,9	9,87	9,81
4	34	10,22	10,36	10,39	10,38
5 (codo)	34x30	11,65	13,02	12,7	12,77
6	34	9,86	9,88	9,85	9,89
7	34	9,97	10,07	9,85	9,89
8 (codo)	34x30	12,71	12,97	12,86	13,34
9	34	9,83	9,93	9,92	9,41

En el Apéndice C se detalla la ubicación de los puntos de medición de los espesores del sistema en estudio. Continuando con la descripción detallada de las mediciones realizadas, donde la nomenclatura permitió identificar dónde se tomaron las mediciones en los puntos A, B, C y D, los cuales hacen referencia a la posición transversal de las mediciones (consultar figura 4.5). Cabe destacar que se realizaron cuatro mediciones en cada punto.



**Figura 4.5** Nomenclatura de las mediciones de espesores, vista seccional de la tubería [Fuente: Elaboración propia].

Al comparar estos espesores con los datos de espesores de pared típicos de tuberías de acero al carbono para los diferentes espesores de la tubería (Ver anexo 1) existentes se encontraron los siguientes resultados tal como se observa en la tabla 4.4:

**Tabla 4.4** Comparación de espesores [Fuente: Elaboración propia].

DIÁMETRO	PUNTO DE MEDICIÓN	ESPELOR DE TABLA PARA TUBERÍA ESTÁNDAR mm (pulg)	ESPELOR DE TUBERÍA MEDIDO EN SITIO (PROMEDIO) mm (pulg)	ESPELOR DE TUBERÍA EN SITIO (PROMEDIO) mm (pulg)	SCHEDULE DE TABLA
30"	1	9,525 (0,375")	9,98 (0,39")	9,525 (0,375")	STD
30"	2	9,525 (0,375")	9,98 (0,39")	9,525 (0,375")	STD
34"	3	9,525 (0,375")	9,83 (0,387")	9,525 (0,375")	STD
34"	4	9,525 (0,375")	10,34 (0,407")	9,525 (0,375")	STD
34"	5 (Codo 90)	9,52 (0,375")	12,53 (0,49")	12,7 (0,50")	STD
34"	6	9,525 (0,375")	9,87 (0,388")	9,525 (0,375")	STD
34"	7	9,525 (0,375")	9,91 (0,39")	9,525 (0,375")	STD
34"	8 (Codo 90)	9,52 (0,375")	12,97 (0,51")	9,52 (0,375")	STD
34"	9	9,525 (0,375")	9,77 (0,385")	9,525 (0,375")	STD

Los puntos de medición 5 y 8 fueron excluidos del estudio, ya que corresponden a accesorios de tubería, específicamente codos, y no a la tubería principal. Seguidamente, se observó que la clase y la cédula de las tuberías de 30" y 34" coincidían con las especificaciones de tuberías estándar de cédula (SCH STD).

#### 4.3 Identificación de las líneas de succión y descarga de residual

Después de revisar y comparar las características de las tuberías, se observó que todas las líneas, independientemente de su diámetro, tienen la clasificación AA1

según la normativa interna PDVSA-H-221. Las características se definen en la tabla 4.5, a continuación:

**Tabla 4.5** Especificación AA1 [Fuente: Elaboración propia].

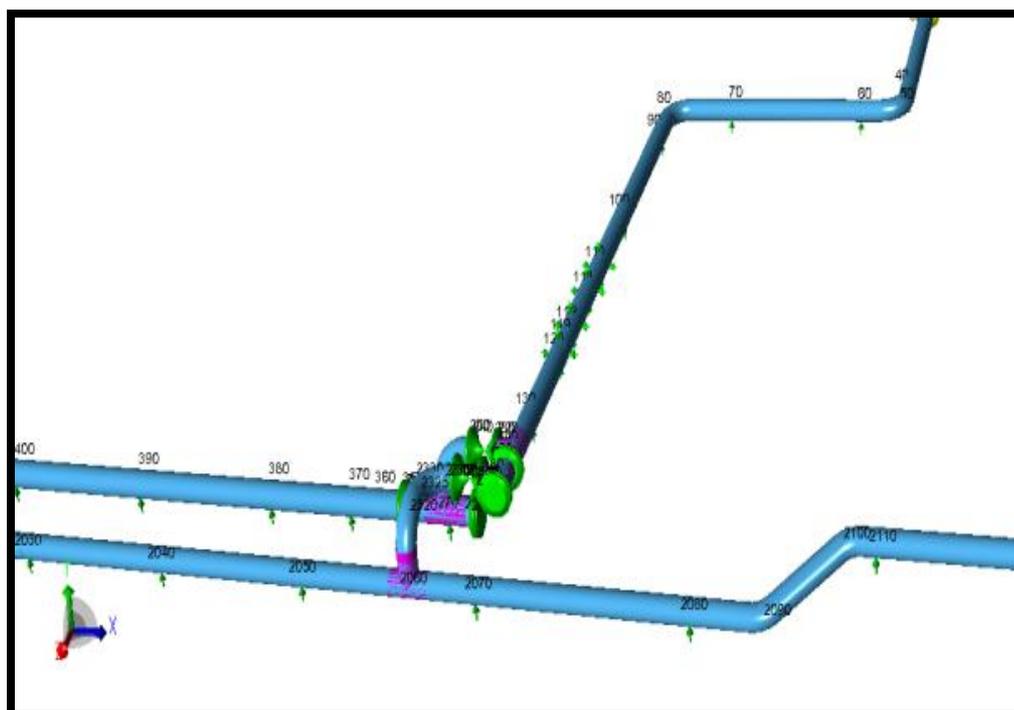
<b>CÓDIGO DE DISEÑO</b>	ASME B 31-3
<b>SOBRE ESPESOR POR CORROSIÓN</b>	1.587 mm (0.0625 pulg)
<b>TUBERÍA (26"-34")</b>	SHC STD API-5L-B PSL 1EXTREMO BISELADO CON COSTURA SAW

#### **4.4 Modelo tridimensional de las líneas de succión y descarga**

Posteriormente, se procedió a utilizar toda la información recopilada para construir el modelo computacional de las líneas mediante el software CAESAR II, conforme a la normativa correspondiente (ASME B31.3). En este proceso, se incorporaron de manera secuencial todos los elementos que componen el sistema de tuberías, incluyendo tramos de tuberías, codos, válvulas, bridas, soportes, entre otros.

Se consideraron todos los detalles técnicos de las tuberías que forman parte de las líneas de succión y descarga. Estos detalles incluyen, entre otros, el diámetro, el espesor de la tubería, el espesor de corrosión, la temperatura (tanto de operación como de diseño), la presión (de diseño, operacional y de prueba hidrostática), el material de la tubería, el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson, el esfuerzo de fluencia, la densidad de la tubería y del fluido, el tipo de soportería, la enumeración de nodos (seccionamiento), así como la inclusión de codos, tees, válvulas, bridas y rígidos (con sus dimensiones y pesos), entre otros aspectos relevantes.

Mediante el uso del software CAESAR II, se generó un modelo tridimensional de las líneas de succión y descarga de residual de los tanques de almacenamiento atmosférico en la Refinería Puerto La Cruz. Este software constituyó una herramienta computacional eficaz para el análisis de flexibilidad del sistema de tuberías en estudio. En la figura 4.6, se presenta el modelo tridimensional del sistema, junto con la distribución nodal correspondiente.



**Figura 4.6** Modelo tridimensional, distribución nodal del cabezal de 30" y 34"

[Fuente CAESAR II 2011]

Al analizar el comportamiento de las líneas de succión y descarga de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6, se evaluaron los siguientes casos generales: inicialmente, se analizaron las líneas de succión y descarga sin incorporar mejoras, con el objetivo de estudiar el sistema y determinar los puntos críticos donde se generan los esfuerzos.

#### 4.4.1 Evaluación de esfuerzos del sistema original.

La evaluación de los esfuerzos en el sistema de tuberías se realizó en diferentes casos de carga, según el código ASME B31.3. Los casos de carga fueron: carga sostenida (SUS), donde se consideró el peso del sistema y su contenido; expansión térmica (EXP), donde se analizaron los esfuerzos por dilatación y contracción de las tuberías debido a cambios de temperatura; y la condición de operación (OPE), para evaluar los esfuerzos generados por el peso propio, temperatura y presión interna; Además, para facilitar la interpretación de los resultados en esta sección, se presentan tablas y figuras que muestran los puntos correspondientes a los nodos de la tubería en los que se registran los mayores esfuerzos en cada uno de los casos de carga estudiados. Para la evaluación de este modelo se sustituyó las juntas de expansión por carretos, para observar el comportamiento del sistema y evaluar las cargas ejercidas a lo largo de la tubería.

##### 4.4.1.1 Caso de carga: Sostenido (SUS).

En el análisis de este caso de estudio, se consideraron los efectos de parámetros como el peso propio de la tubería y el fluido, así como la presión en las condiciones de diseño y operación en el modelo original. Se evaluaron dos escenarios distintos para representar las cargas sostenidas: En la tabla 4.6, que corresponde a la suma del peso de la tubería y el fluido, además de la presión de operación, y en la tabla 4.7, que corresponde a la suma del peso de la tubería y el fluido, junto con la presión de diseño. Los resultados de los esfuerzos máximos generados en cada uno de estos casos se presentan en las tablas 4.6 y 4.7, respectivamente, que se muestran a continuación:

**Tabla 4.6** Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación correspondiente al sistema original [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	Flexión (psi)	Torsión (psi)	Resultante (psi)	Permisible (psi)	
70	6731.2	-360.4	90093.5	20000.0	258.0
<b>130</b>	<b>38386.2</b>	<b>-758.2</b>	<b>164352.4</b>	<b>20000.0</b>	<b>673.5</b>

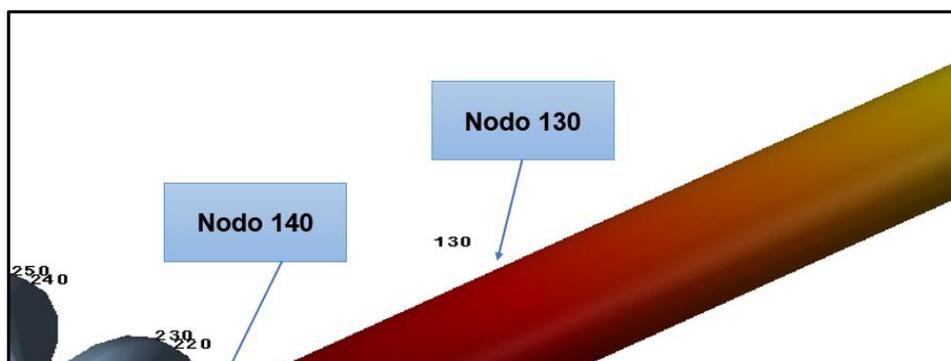
**Tabla 4.6** Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación correspondiente al sistema original [Fuente CAESAR II 2011].

140	118865.8	-758.2	90166.6	20000.0	419.7
270	19589.1	3501.1	91381.3	20000.0	362.5
700	8660.9	4716.1	127806.0	20000.0	530.9
<b>740</b>	<b>115541.1</b>	<b>-4919.5</b>	<b>160812.7</b>	<b>20000.0</b>	<b>658.9</b>
2700	33257.0	-48.6	84007.2	20000.0	420
2060	59860.2	-332.7	90431.0	20000.0	452.2
2080	15802.7	-332.7	60953.5	20000.0	304.8

**Tabla 4.7** Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de diseño correspondiente al sistema original [Fuente CAESAR II 2011].

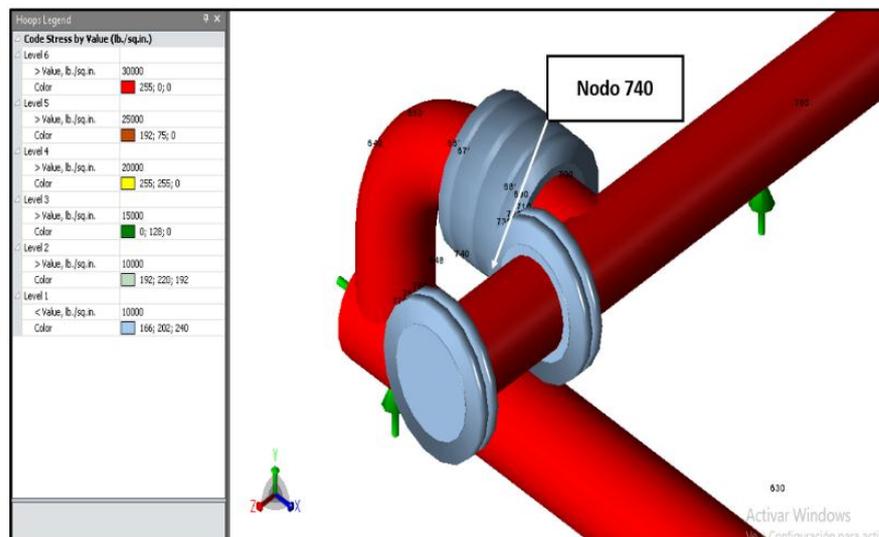
NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	Flexión (psi)	Torsión (psi)	Resultante (psi)	Permisible (psi)	
130	38386.2	758.2	88920.8	20000.0	444.6
<b>140</b>	<b>118865.8</b>	<b>-758.2</b>	<b>139679.2</b>	<b>20000.0</b>	<b>698.4</b>
<b>180</b>	<b>133823.4</b>	<b>-5484.4</b>	<b>150425.1</b>	<b>20000.0</b>	<b>752.1</b>
700	81987.8	4716.1	111150.8	20000.0	555.8
1340	19780.2	571.5	76134.5	20000.0	380.7
2060	59860.2	-332.7	95415.8	20000.0	477.1
2370	11622.6	-8236.7	63584.6	20000.0	317.9
2720	8336.0	-48.6	64823.6	20000.0	324.1

Los resultados mostrados en las tablas 4.6 y 4.7 evidencian el comportamiento entre sí, ya que los esfuerzos generados sobrepasan los límites permisibles, alcanzando un 752,1% y un 698,4% en los nodos 180 y 140, respectivamente. Estos resultados indican que el sistema no cumple con los requisitos de flexibilidad estructural necesarios para cumplir los estándares según el código. Seguidamente, se ilustra la ubicación de los nodos críticos, correspondiente a la figura 4.7:



**Figura 4.7** Ubicación de los nodos 130 y 140 en el modelo original, puntos críticos [Fuente CAESAR II 2011].

En estos puntos, el incremento excesivo de las cargas en las uniones tipo tubo a tubo excede ampliamente los límites permisibles establecidos por la norma. Tal como se muestra en la figura 4.8, el nodo 740 representa el punto más crítico del sistema original.



**Figura 4.8** Ubicación del nodo 740 en el modelo original, puntos más críticos [Fuente CAESAR II 2011].

#### 4.4.1.2 Caso de carga: Expansión térmica (EXP).

El análisis de los esfuerzos térmicos permite indagar acerca de la resistencia del arreglo de tuberías a las libres contracciones y expansiones térmicas considerando las restricciones dispuestas en el sistema, verificándose la

condición de flexibilidad de las líneas en estudio. El rango de esfuerzos al cual estará sometido el sistema por efectos de la expansión térmica fue determinado mediante la sustracción algebraica de los casos de carga en operación y sostenido, y luego comparado con el rango de esfuerzos permisible establecido por el código ASME B31.3.

Estos valores se pueden apreciar en las tablas 4.8 y 4.9 que se muestran a continuación:

**Tabla 4.8** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de operación del sistema original [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	Flexión (psi)	Torsión (psi)	Código (psi)	Permisible (psi)	
<b>140</b>	<b>163586.7</b>	<b>-323.6</b>	<b>166662.0</b>	<b>30000.0</b>	<b>555.5</b>
180	55201.2	1422.2	56077.5	30000.0	186.9
<b>270</b>	<b>120443.2</b>	<b>121.5</b>	<b>128222.5</b>	<b>30000.0</b>	<b>427.4</b>
640	7264.2	89.9	74656.9	30000.0	248.9
2060	66371.1	384.7	79427.6	30000.0	264.8
1670	45942.1	-6.3	51316.2	30000.0	171.1
1360	29505.6	-1446.3	32733.9	30000.0	109.1
700	30791.3	-418.5	31437.9	30000.0	104.8

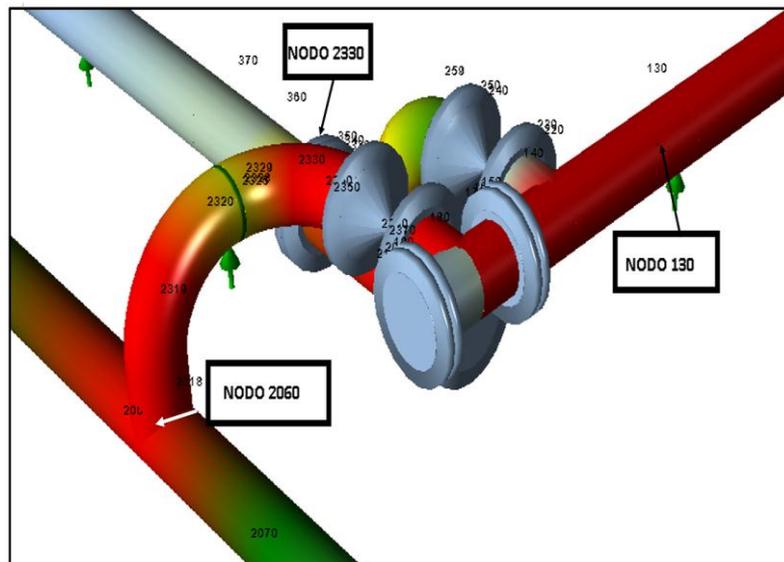
**Tabla 4.9** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño del sistema original [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	Flexión (psi)	Torsión (psi)	Código (psi)	Permisible (psi)	
120	38238.0	-552.5	38331.7	30000.0	127.8

**Tabla 4.9** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño del sistema original (continuación) [Fuente CAESAR II 2011]

<b>140</b>	<b>231636.4</b>	<b>107.2</b>	<b>231915.8</b>	<b>30000.0</b>	<b>773.1</b>
180	97317.6	-107.2	97597.1	30000.0	325.3
<b>270</b>	<b>189558.0</b>	<b>124.8</b>	<b>228331.0</b>	<b>30000.0</b>	<b>761.1</b>
640	9595.7	-124.8	53735.2	30000.0	179.1
2060	109459.5	-105.1	129294.6	30000.0	431.0

Los resultados obtenidos mediante el software CAESAR II mostraron que los esfuerzos en los nodos 140 y 270 alcanzaron niveles críticos, excediendo los valores permisibles establecidos por la norma. En el nodo 140, el esfuerzo máximo calculado fue un 773.1% por encima del límite permisible, mientras que en el nodo 270 alcanzó un 761.1% adicional al máximo tolerado por el código ASME B31.3. De manera sucesiva, los demás nodos críticos pueden observarse en la figura 4.9.



**Figura**

**4.9**

Ubicación de los nodos críticos debido a expansión térmica en el modelo original en estudio [Fuente CAESAR II 2011].

Ante estos resultados, se propone la incorporación de lazos de expansión como una solución técnica viable y efectiva. La integración de estos componentes permitirá que el sistema adquiera la flexibilidad necesaria para absorber las

dilataciones térmicas y distribuir de manera uniforme las cargas, reduciendo significativamente los esfuerzos críticos identificados en la simulación.

Se llevó a cabo el dimensionamiento del lazo de expansión utilizando un nomograma, el cual permitió determinar las dimensiones óptimas para su correcto funcionamiento. Estos valores obtenidos fueron posteriormente verificados mediante simulaciones en el software CAESAR II, con el propósito de evaluar su efectividad en la reducción de esfuerzos y desplazamientos en las líneas de succión y descarga. A través de este proceso, se logró analizar el comportamiento estructural del sistema antes y después de la incorporación de las mejoras, asegurando el cumplimiento de los criterios de flexibilidad y estabilidad requeridos.

#### **4.5 Dimensionamiento del lazo de expansión**

Para activar las líneas de succión y descarga asociadas a los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6, se propone incorporar un lazo de expansión como alternativa a las juntas de expansión que están fuera de servicio. El procedimiento se realizó de acuerdo con lo planteado en la sección 2.2.2 correspondiente a las bases teóricas, donde se explica detalladamente cómo aplicar los nomogramas para dimensionar los lazos.

En la tabla 4.1, se describe el sistema como parte de los objetivos, se recopiló información relevante para obtener los parámetros de operación de las líneas. Con base en estos datos, se dio inicio a los cálculos para el dimensionamiento del lazo de expansión de 34" de diámetro.

Considerando la información presentada en la tabla 4.1, correspondiente a las especificaciones del sistema, se tomaron los siguientes datos:

- $T_o = 200 \text{ }^\circ\text{F} = 93,3 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_f = 82,4 \text{ }^\circ\text{F} = 28 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente)

La longitud total del lazo en estudio se extrajo de los planos isométricos del modelo original (apéndice B), estas medidas se pueden visualizar en el apéndice B. Estos valores se podrán visualizar en la tabla de 4.10.

**Tabla 4.10** Longitudes del lazo de expansión para el dimensionamiento [Fuente: Elaboración propia].

DIÁMETRO DEL LAZO DE EXPANSION (pulgadas)	LONGITUD TOTAL (milímetros)	LONGITUD MEDIA (milímetros)
34	250000	125000

Dicho esto, se aplica la fórmula 2.2 asociada a la “Expansión Térmica” para los casos en estudio, tal como se puede observar en la tabla 4.11:

**Tabla 4.11** Calculo de expansión térmica del lazo de expansión en estudio

[Fuente: Elaboración propia].

EXPANSIÓN TÉRMICA ( $\Delta L$ )		
DIÁMETRO DEL LAZO DE EXPANSIÓN (PULGADAS)	$\Delta L$ (milímetros)	$\Delta L$ (pulgadas)
34	98	3,85

Consecutivamente, con el valor de  $\Delta L$  (Anexo 2. Cálculos de Expansión Térmica para lazo de expansión) se procedió a utilizar la gráfica 2.3, perteneciente a los nomogramas.

Se graficó con una línea color rojo el estimado del lazo de 34”. Para el caso en estudio, se trazó una línea entre las escalas, tal como se muestra en la figura 4.10:

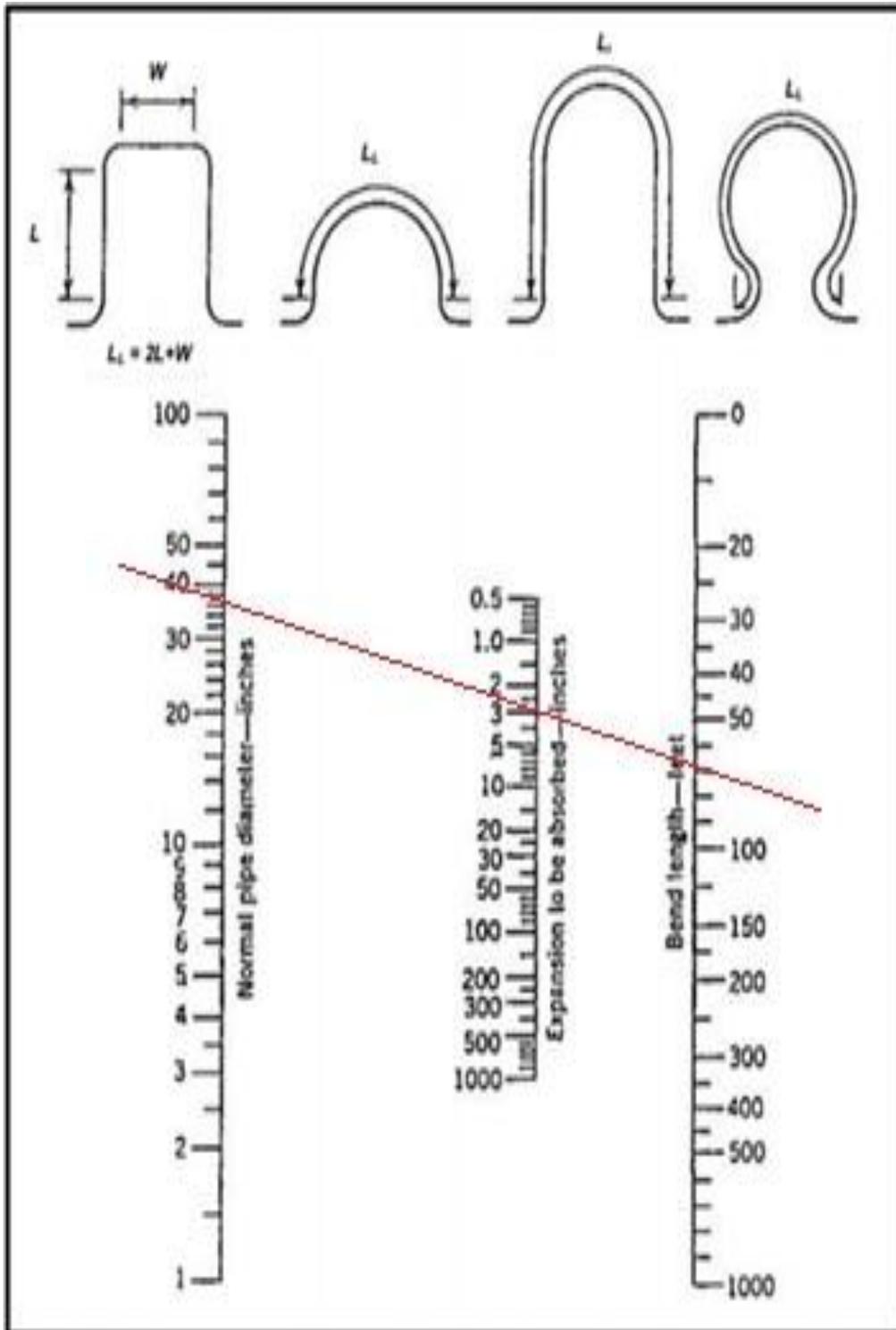


Figura 4.10 Nomograma de dimensionamiento del lazo de expansión de 34” pertenecientes a las líneas de succión y descarga de residual.

Como se pudo observar en la figura 4.10 en el dimensionamiento del lazo de expansión de 34" perteneciente a las líneas de succión y descarga de residual mediante el uso de nomogramas. En la escala ubicada a mano derecha, se tomó el valor  $L_L$  para cada caso en estudio y, posteriormente, se realizó la conversión de pies a metros y luego a milímetros, tal como se puede apreciar en la tabla 4.12:

**Tabla 4.12** Conversión de longitudes totales ( $L_L$ ), de acuerdo al uso del nomograma [Fuente: Elaboración propia].

CONVERSIÓN DE LONGITUDES TOTALES ( $L_L$ )			
DIÁMETRO DEL LAZO DE EXPANSIÓN (PULGADAS)	$L_L$ (pies)	$L_L$ (metros)	$L_L$ (milímetros)
34"	65.7	20.0254	20025.4

Conforme a la norma ASME B31.3, que establece los requisitos para la integridad y seguridad de los sistemas de tuberías en plantas de procesos, se ajustó el tamaño estimado del lazo teniendo en cuenta las condiciones específicas del área de instalación.

El uso de nomogramas proporcionó una estimación inicial para el caso en estudio. Sin embargo, este valor se ajustó considerando las condiciones particulares de cada entorno, dado que las líneas de succión y descarga forman parte de una línea general de tuberías. Este ajuste fue necesario para asegurar que el dimensionamiento fuera adecuado desde el punto de vista técnico y visual.

#### **4.6 Evaluación de esfuerzos de la propuesta de mejora**

La propuesta de incorporar lazos de expansión en las líneas de succión y descarga busca mejorar la flexibilidad del sistema y asegurar su operatividad dentro de los límites permisibles establecidos por la norma ASME B31.3. Para evaluar la factibilidad de esta mejora, se realizó una prueba hidrostática en el sistema mejorado, observando de manera específica la respuesta del sistema bajo condiciones de presión sostenida. Esta prueba demostró que la adición de un lazo de expansión reduce significativamente los esfuerzos excesivos en puntos críticos, mitigando la acumulación de tensiones que anteriormente sobrepasaban los límites.

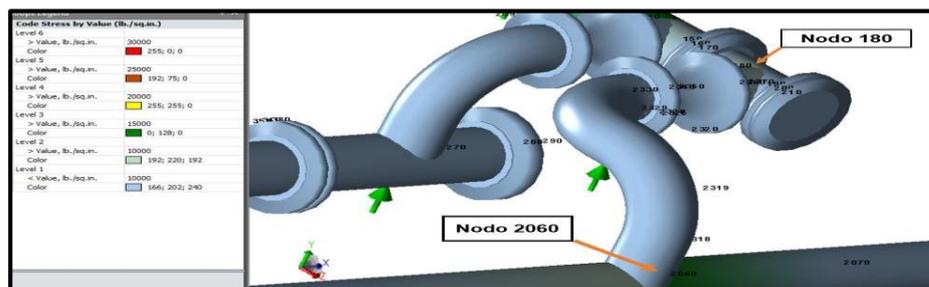
#### 4.6.1 Caso de carga: Prueba hidrostática (HYP)

La prueba hidrostática consiste en llenar el sistema de tuberías con agua y aplicar una presión equivalente a 1.5 veces la presión de diseño, que en este caso corresponde a 55 psi. En la tabla 4.13 se presentan los mayores esfuerzos generados durante la prueba hidrostática aplicada al sistema en estudio.

**Tabla 4.13** Esfuerzos máximos generados en la prueba hidrostática asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	Flexión (psi)	Torsión (psi)	Resultante (psi)	Permisible (psi)	
140	5529.1	-82.5	4197.2	35000.0	12.0
180	6229.2	-473.8	4781.0	35000.0	13.7
700	3833.6	380.9	3025.6	35000.0	8.6
740	5315.4	-429.7	4081.8	35000.0	11.7
2060	7294.8	-1.1	5476.7	35000.0	15.6

Al observar la tabla 4.13 se puede apreciar como los valores de esfuerzos generados en la propuesta de mejora se encuentran muy por debajo de los límites contemplados por el código ASME 31.3. Esto evidencia como las líneas no presentan ningún tipo de problema en cuanto a la flexibilidad para este caso en estudio, siendo los valores más elevados en cuanto a porcentaje de esfuerzo un 15.6% al nodo 2060 y seguidamente del nodo 180 con un porcentaje de 13.7%. A continuación, se puede observar la ubicación de los nodos mencionados anteriormente en la figura 4.11:



**Figura 4.11** Ubicación de los nodos 2060 y 180 asociado a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

## 4.6.2 Caso de carga: Sostenido (SUS):

La propuesta de incorporar un lazo de expansión en las líneas de succión y descarga de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6 permite mejorar el comportamiento del sistema frente a cargas sostenidas, como el peso del fluido, de la tubería y la presión de operación. Los resultados se pueden observar en las tablas 4.14 y 4.15 con sus respectivas deducciones por caso:

**Tabla 4.14** Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	FLEXIÓN (psi)	TORSIÓN (psi)	RESULTANTE (psi)	PERMISIBLE (psi)	
130	4868.1	-127.4	7871.0	20000.0	39.4
140	8497.6	-127.4	9375.4	20000.0	46.9

**Tabla 4.14** Mayores esfuerzos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de operación asociada a la propuesta de mejora (Continuación) [Fuente CAESAR II 2011].

180	9548.4	-732.5	10171.2	20000.0	50.9
270	4913.1	-43.1	7018.0	20000.0	35.1
740	8123.9	-668.4	9122.4	20000.0	45.6
1190	11064.6	-1.8	8722.2	20000.0	43.6
2060	4576.6	-44.5	6441.2	20000.0	32.2

**Tabla 4.15** Esfuerzos máximos generados debido a cargas sostenidas considerando el peso más la presión de diseño asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011]

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	FLEXIÓN (psi)	TORSIÓN (psi)	RESULTANTE (psi)	PERMISIBLE (psi)	
130	4868.1	127.4	12549.8	20000.0	62.7
140	3317.5	732.5	10178.3	20000.0	50.9
180	1035.4	-0.0	8382.1	20000.0	41.9

270	1451.4	-0.0	9734.0	20000.0	48.7
700	2960.2	668.4	9922.0	20000.0	49.6
<b>2060</b>	<b>4576.6</b>	<b>-44.5</b>	<b>11121.3</b>	<b>20000.0</b>	<b>55.6</b>
2220	1592.4	3.9	9197.9	20000.0	46.0
1360	1709.7	-9.3	9898.9	20000.0	49.5

Los resultados mostrados en las tablas 4.14 y 4.15 evidencian un comportamiento similar entre sí, estos esfuerzos generados en el sistema de mejora no superan a los permisibles contemplados en el código ASME B 31.3. Los resultados obtenidos en el nodo 130 (correspondientes a las conexiones tubo a tubo) se encuentran aceptables con 62.3%, sucesivamente, el nodo 2060 con 55.6%. Con respecto a los valores obtenidos en el modelo original, la disminución es completamente notoria y satisfactoria, con un valor aproximado del 700%

#### 4.6.3 Caso de carga: Expansión Térmica (EXP).

El análisis de los esfuerzos térmicos se realizó con el propósito de evaluar la resistencia del sistema de tuberías frente a las contracciones y expansiones térmicas, considerando las restricciones asociadas a la incorporación de la propuesta de mejora en las líneas de succión y descarga de residual.

Mediante este análisis, se verificó la flexibilidad del conjunto de tuberías y su capacidad para disipar adecuadamente los esfuerzos térmicos generados. En la tabla 4.16 se presentan los resultados de los mayores esfuerzos originados por las expansiones y contracciones térmicas. Asimismo, en la tabla 4.17 se muestran los resultados obtenidos bajo condiciones más críticas, utilizando la temperatura de diseño de 200 °F, según las especificaciones técnicas de PDVSA, lo que permitió evaluar la respuesta del sistema ante los esfuerzos térmicos en distintos escenarios.

**Tabla 4.16** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de operación asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

	<b>ESFUERZOS (psi)</b>	
--	------------------------	--

NODO	FLEXIÓN (psi)	TORSIÓN (psi)	CÓDIGO (psi)	PERMISIBLE (psi)	PORCENTAJE (%)
140	17659.1	-342.5	18467.6	39821.7	46.4
180	12609.6	342.5	13422.9	33273.7	40.3
270	11629.0	-215.0	12553.8	39089.9	32.1
640	3896.7	-64.2	9867.9	38728.8	25.5
700	10440.2	-262.7	11015.2	39776.6	27.7
1360	12454.0	-1149.6	13622.0	40108.7	34.0

**Tabla 4.17** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño asociada a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

NODO	ESFUERZOS (psi)				PORCENTAJE (%)
	FLEXIÓN (psi)	TORSIÓN (psi)	CÓDIGO (psi)	PERMISIBLE (psi)	
140	21982.9	-334.6	22897.0	39821.7	57.5

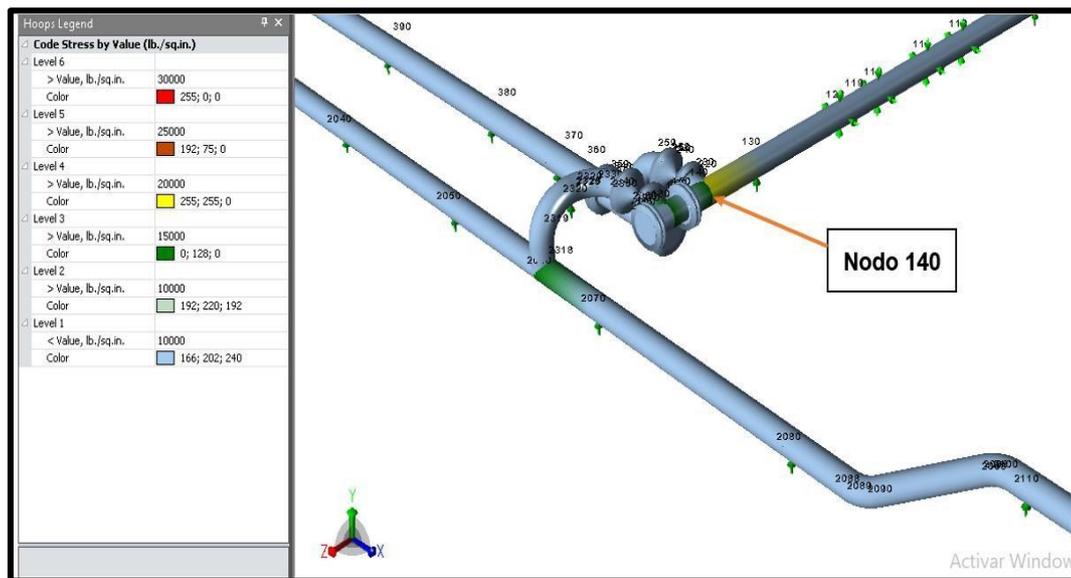
**Tabla 4.17** Esfuerzos máximos generados por expansión térmica considerando la temperatura de diseño asociada a la propuesta de mejora (Continuación)

[Fuente CAESAR II 2011].

180	15266.5	334.6	16184.7	33273.7	48.6
270	15801.5	-160.8	16968.7	39089.9	43.4
640	5485.4	-91.3	11931.3	38728.8	30.8
700	14685.4	-512.6	15335.7	39776.6	38.6
1450	13147.5	114.8	14036.8	40828.9	34.4
2060	4694.5	-54.9	7251.7	34290.4	21.1

En las tablas 4.16 y 4.17 se observa que los esfuerzos térmicos generados en la propuesta de mejora son aceptables según la normativa. En comparación con el modelo original, se logró una reducción aproximada del 500 % en la intensidad de los esfuerzos involucrados, como se evidencia en los nodos 140 y 180 y sus respectivos resultados.

Asimismo, la propuesta de mejora permite verificar que no existen problemas relacionados con la flexibilidad del sistema. En la figura 4.12 se muestra la ubicación del nodo 140, presentada a continuación:



**Figura 4.12** Ubicación referencial del nodo 140, asociado a la propuesta de mejora [Fuente CAESAR II 2011].

4.6.4 Evaluación de funcionamiento del lazo de expansión en las líneas de succión y descarga de residual.

Para comprobar el correcto funcionamiento de la propuesta de mejora, se analizaron los desplazamientos generados en el sistema, verificando que no se presentaran valores superiores a seis pulgadas en dirección horizontal ni deflexiones verticales mayores a 0.5905 pulgadas, de acuerdo con los criterios de diseño de soportes para tuberías de PDVSA. Además, se evaluó la posible pérdida de apoyo por levantamiento de la tubería. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 4.18.

**Tabla 4.18** Máximos desplazamientos en la propuesta de mejora [Fuente: CAESAR II 2011].

<b>MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS</b>			
<b>Nodo</b>	<b>Dx (pulg)</b>	<b>Dy (pulg)</b>	<b>Dz (pulg)</b>
130	0.0735	0.0000	0.0422
140	0.0942	0.0002	0.0930
700	-0.1308	<b>-0.2801</b>	0.126
2050	0.0002	-0.0000	0.0929
2060	0.1006	-0.0275	0.1600
2070	<b>0.1571</b>	-0.0000	0.1633
2330	0.0538	0.0135	0.1178
2390	-0.0617	-0.0079	0.2046
2400	-0.0617	0.0252	<b>0.1859</b>
2460	-0.0617	0.0066	0.1531

Al observar la tabla 4.18, se puede apreciar como el desplazamiento vertical es de 0.2801 pulgadas, lo cual se encuentra dentro del valor máximo deflexión permisible de 0.59 pulgadas. En cuanto a los desplazamientos longitudinales y transversales, correspondientes a los desplazamientos horizontales estos son mucho menores a seis pulgadas, con un valor máximo de 0.1571 pulgadas, aun menor a los desplazamientos verticales, como puede

notarse, los desplazamientos se encuentran dentro de los rangos establecidos, lo que permite a las restricciones impuestas al sistema no crear cargas laterales excesivas o interferencia.

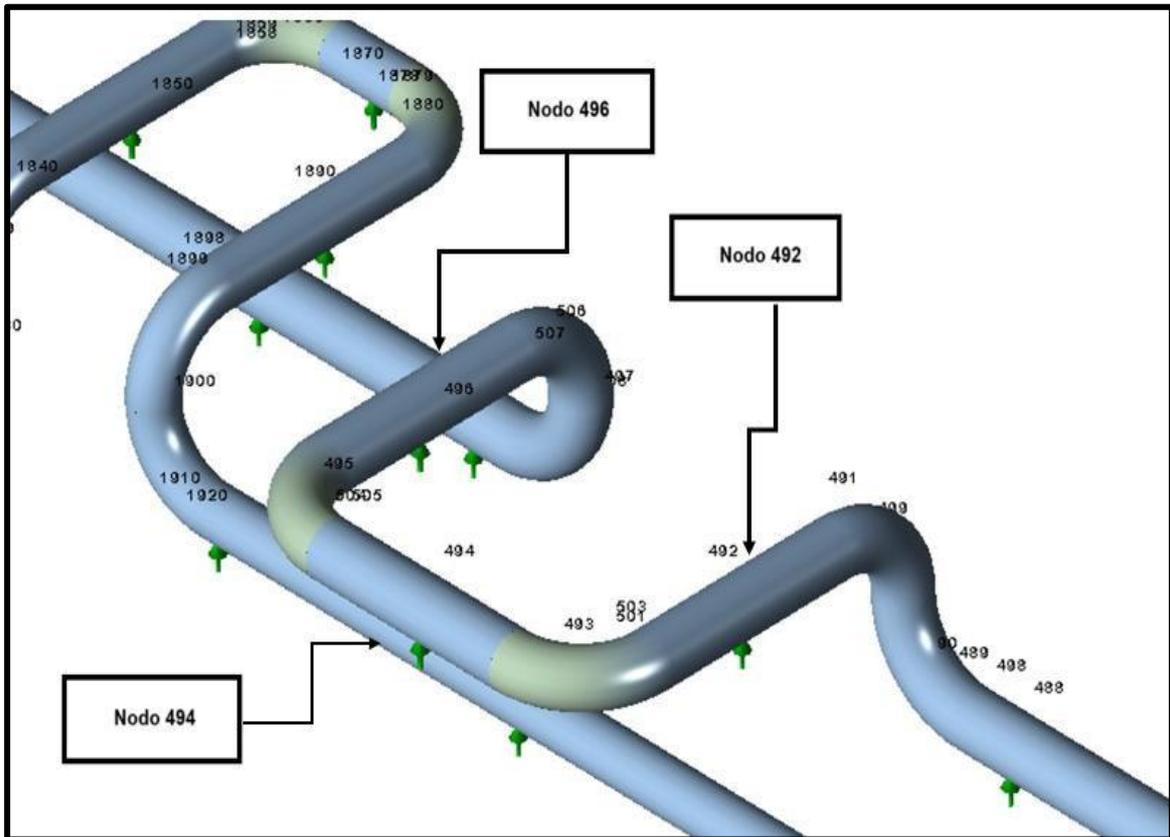
#### 4.6.5 Soportes adicionales.

Para la incorporación de la propuesta de mejora, se requiere la instalación de tres soportes metálicos sin guía tipo Cristo (ver Apéndice E, Soporte tipo Cristo), con el propósito de reducir las cargas detalladas en la tabla 4.19, donde se presenta un análisis para cada caso.

**Tabla 4.19** Restricciones en los soportes del lazo de 34” [Fuente CAESAR II 2011].

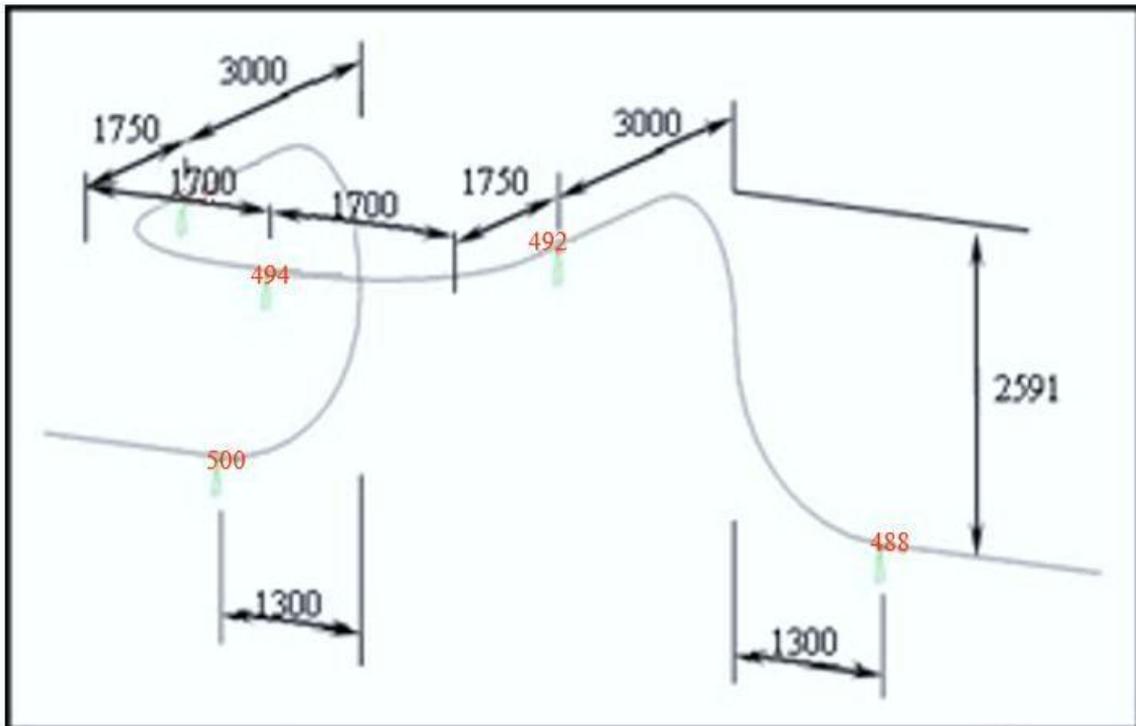
CASO DE CARGA	RESTRICCIONES (lb)				
	Nodo 488	Nodo 492	Nodo 494	Nodo 496	Nodo 500
L1: (HYD) WW+HP	5926	7302	2733	7404	3788
L2: (OPE) W+T1+P1	5610	4220	6442	5010	2835
L3: (OPE) W+T2+P2	5290	1782	<b>9324</b>	3316	4831
L4: (SUS) W+P1	<b>6925</b>	7302	2733	<b>7404</b>	<b>6788</b>
L5: (SUS) W+P2	5920	<b>7302</b>	2733	7404	4788
L6: (EXP) L2-L4	3150	3081	3709	2394	3953
L7: (EXP) L3-L4	2635	5520	4088	4088	2957
<b>CARGA</b>	<b>6925[4]</b>	<b>7302[5]</b>	<b>9324[3]</b>	<b>7404[4]</b>	<b>6788[4]</b>

En la Figura 4.13 muestra la ubicación de los nodos en los que se requiere la incorporación de soportes adicionales.



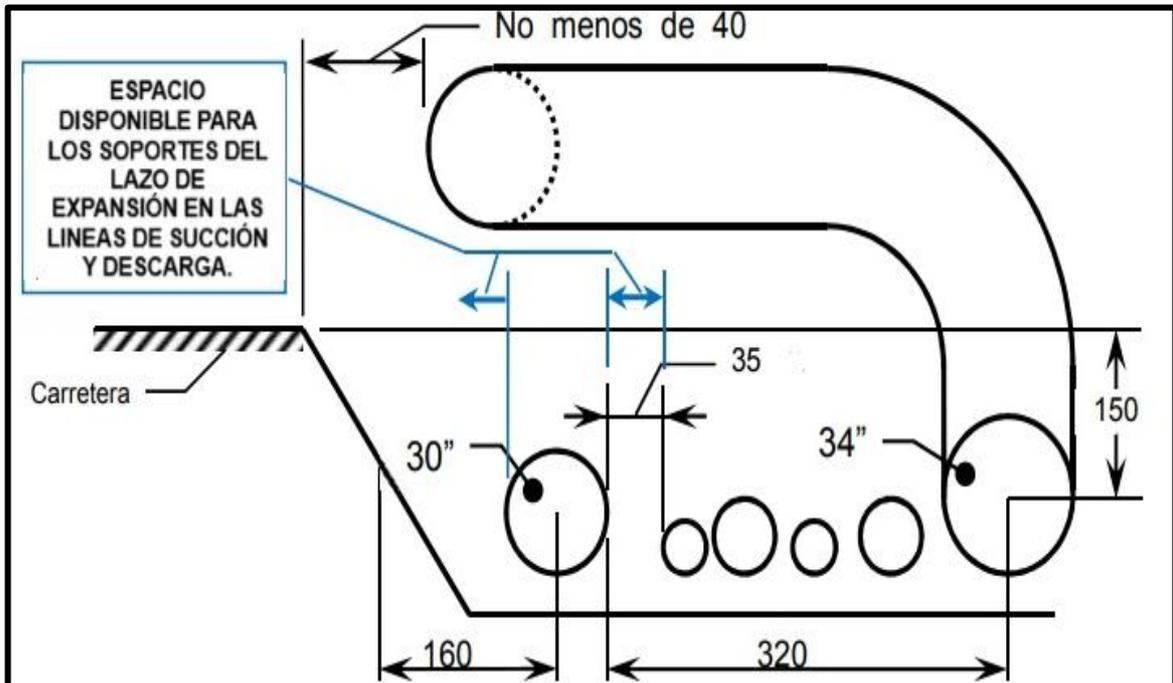
**Figura 4.13** Ubicación de nuevos soportes en el lazo de expansión [Fuente CAESAR II 2011].

Los nodos 492, 494 y 496 presentaron fuerzas de 7302 lb (3315,17 kg), 9324 lb (4233,09 kg) y 7404 lb (3361,41 kg), respectivamente, asociadas al apoyo del lazo de expansión. Estas cargas fueron consideradas en función de la capacidad requerida para soportar los esfuerzos indicados en la Tabla 4.19, previamente descrita, sin comprometer la seguridad estructural del sistema. La configuración final fue ajustada y verificada mediante simulaciones realizadas en el software CAESAR II. En la Figura 4.14 se presenta la ilustración correspondiente, donde se detalla el dimensionamiento de la unidad analizada, incluyendo los puntos de apoyo propuestos.



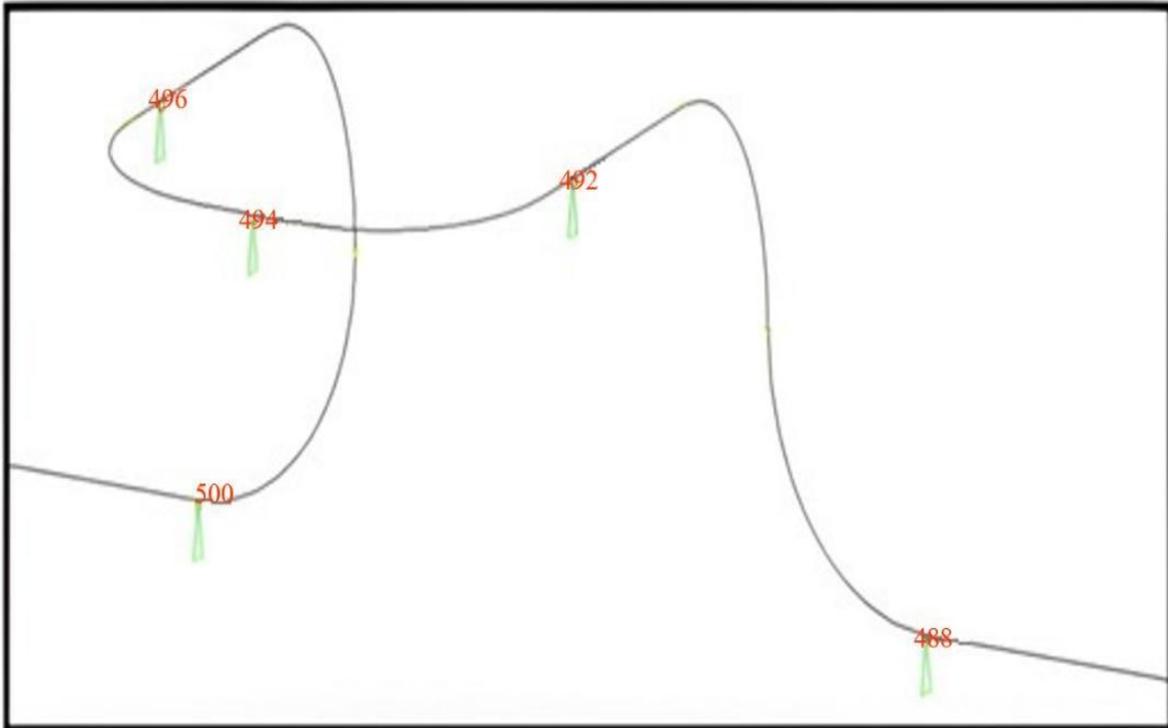
**Figura 4.14** Dimensionamiento en milímetros del lazo de expansión de 34”  
propuesto [Fuente: AutoCAD].

El dimensionamiento del lazo de expansión, realizado mediante el método de los nomogramas, aseguró su capacidad para absorber los desplazamientos térmicos y mecánicos sin exceder los límites permisibles establecidos por la norma ASME B31.3, en lo referente a los esfuerzos admisibles en sistemas de tuberías. Bajo las condiciones de carga evaluadas, se determinó que el diseño de los nodos es adecuado para soportar las fuerzas implicadas sin comprometer la seguridad estructural. Asimismo, la ubicación de los soportes adicionales fue definida considerando el espacio físico disponible en el área de instalación. En la Figura 4.15 se presenta un croquis con las dimensiones disponibles (en centímetros) para la instalación de dichos soportes, así como la distancia mínima entre el lazo de expansión y la carretera.



**Figura 4.15** Croquis para la ubicación de los soportes del lazo de expansión de la línea de 34 pulgadas entre los tanques 250X4 y 250X5 (unidades en centímetros), [Fuente: AutoCAD].

La dimensión del lazo de expansión en la dirección de la tubería se seleccionó aprovechando los soportes existentes en los nodos 488 y 500, según se muestra en la Figura 4.16. Se consideraron los valores obtenidos en la simulación y la distancia disponible en las tuberías para definir la extensión óptima del lazo. El análisis evidenció que la configuración adoptada permitía distribuir eficazmente los desplazamientos térmicos y mecánicos, garantizando una conexión estable entre los soportes y reduciendo posibles deformaciones. Además, se constató que la estrategia implementada maximiza el aprovechamiento de la infraestructura existente, asegurando la integridad y operatividad del sistema en condiciones reales



**Figura 4.16** Soportes existentes para el lazo de expansión (Nodos 488 y 500)

[Fuente: AutoCAD]

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **5.1. Conclusiones:**

Considerando los resultados de las simulaciones de los sistemas, que incluyen mejoras y modificaciones en el diseño, los lazos de expansión como una alternativa eficiente y segura más la soportería de los arreglos de tuberías inicialmente propuestos para mejorar su flexibilidad y estabilidad mecánica, llegamos a las siguientes conclusiones:

1. Dado que las válvulas y bridas instaladas en los cabezales de  $\text{Ø}=30''$  y  $\text{Ø}=34''$ , así como en las líneas de  $\text{Ø}=30''$  que conectan dichos cabezales con los tanques 250x4/5/6, presentan una clasificación de 150#, se determinó que los valores de temperatura y presión de operación de estas líneas eran relativamente bajos, con 200°F y 150 psi, respectivamente.
2. Se comprobó que los valores de esfuerzos y desplazamientos obtenidos con la evaluación del nuevo arreglo propuesto para el lazo de expansión de las líneas de succión y descarga del sistema de residual del cabezal de  $\text{Ø} 34''$  mediante el software CAESAR II, se encuentran dentro del rango establecido en el código ASME B31.3, por lo que el sistema puede operar bajo las condiciones previstas de forma satisfactoria.
3. Los lazos de expansión tridimensionales resultan ser una excelente propuesta para solucionar los problemas de falta de juntas de expansión, son elementos que se ajustan a los requerimientos. Esto se comprobó a medida que se fueron realizando las simulaciones en el software CAESAR II, dado que los valores eran aceptables de acuerdo al Código ASME B 31-3.

4. El sistema resulta suficientemente flexible en cuanto a espesores de tubería y resistencia de materiales, para soportar las condiciones de carga impuestas.
5. El análisis estático realizado indicó que, bajo las condiciones operativas, los esfuerzos sostenidos y por expansión se mantuvieron dentro de los límites permisibles según el Código ASME B31.3, por lo que se consideró que los arreglos eran adecuados.
6. Los lazos de expansión reducen la necesidad de realizar modificaciones costosas en la tubería principal, al tiempo que prolongan la vida útil del sistema y minimizan el riesgo de fallos mecánicos. Por lo tanto, se concluye que la instalación de lazos de expansión es una práctica recomendada para mejorar la fiabilidad y eficiencia para reactivar las líneas de succión y descarga siempre y cuando se cumplan con las normativas requeridas.
7. La incorporación de nuevos soportes permitirá resistir las cargas del sistema sin superar los niveles de esfuerzo permisibles para las condiciones de carga analizadas.

## **5.2 Recomendaciones:**

1. Colocar los espárragos y tuercas faltantes en el sistema de tubería asociado a los cabezales de 30" y 34", así como el suministro e instalación de la brida ciega de 30" faltante en el extremo sur-oeste del cabezal de 30".
2. El lazo de expansión debe construirse siguiendo estrictamente las dimensiones propuestas en los planos isométricos definitivos. Es crucial que se consideren también las notas y observaciones realizadas durante la fabricación y restauración de los soportes señalados. Esto garantizará que los lazos de expansión funcionen correctamente, absorbiendo el movimiento térmico sin causar tensiones adicionales en el sistema de tuberías. Además, asegura que todos los componentes

estén alineados y ensamblados de acuerdo con las especificaciones técnicas, manteniendo la integridad y la eficiencia del sistema.

3. Se recomienda adherirse a las pautas establecidas por la norma ASME B31.3, que aboga por la implementación de un protocolo de inspección periódica de los soportes de concreto destinados a los lazos de expansión. Estas inspecciones deben centrarse específicamente en la detección y corrección de cualquier deterioro presente en los soportes existentes. Al identificar soportes deteriorados, es imperativo realizar las reparaciones correspondientes según los procedimientos y estándares pertinentes. Este enfoque garantizará la integridad estructural y el funcionamiento confiable de los lazos de expansión propuestos, en conformidad con los rigurosos estándares de seguridad establecidos por la norma ASME B31.3 y los estándares exigidos por PDVSA.
4. Se aconseja realizar un estudio similar al aplicado a las líneas inicialmente analizadas, para cada una de las líneas de  $\varnothing=12''$ ,  $\varnothing=14''$ ,  $\varnothing=16''$  y  $\varnothing=18''$  que corren paralelamente. Estas líneas también cuentan con juntas de expansión que podrían ser susceptibles de fallar en el futuro debido al desgaste y al tiempo de funcionamiento acumulado. Evaluar su estado permitirá prevenir posibles problemas y tomar las acciones correctivas necesarias antes de que se presenten fallas operativas.

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía Citadas:

1. Google (2024). “*Mapa de la ciudad de Puerto La Cruz, ubicación de la Refinería Puerto La Cruz*”. Google Maps.<https://www.google.com/maps/@10.2095526,-64.616899,15z/data=!5m1!1e1?entry=ttu>.
2. Google (2024). “*Mapa de la Refinería Puerto La Cruz, ubicación de las líneas de succión y descarga de residual, patio de tanques*”. Google Maps.<https://www.google.com/maps/place/Refiner%C3%ADa/@10.2075522,64.6150699,18z/data=!4m6!3m5!1s0x8c2d7700629b18bd:0xa8e601534f23c668!8m2!3d10.2075639!4d-64.6137703!16s%2Fg%2F11vqt9k0ry!5m1!1e1?entry=ttu>
3. Rengel, Y (2009) “*Análisis Estático de Flexibilidad de los Cabezales de vapor de la unidad Destiladora Atmosférica Da-3 de la Refinería Puerto La Cruz*”. Universidad de Oriente, Ingeniería Mecánica. Anzoátegui, Venezuela.
4. Guerra, S (2016) “*Diseño de líneas Bypass para las válvulas de control de vapor sobrecalentado de la Unidad de Destilación Atmosférica N°1 (DA1)*” Universidad de Oriente, Ingeniería Mecánica. Anzoátegui, Venezuela.
5. Guzmán, M. (2012). “*Manual de diseño para sistemas de tuberías y tanques atmosféricos de techo fijo*”. Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad Simón Bolívar, Estado-Miranda, Venezuela.
6. Kumar, A (2016) “*Expansion Loops on the Piping or Pipeline Systems*”. Revista What’s Piping. Chicago, Estados Unidos.
7. Código ASME B31.3 (2020). “*Pipeline Processes*”.
8. Bestillero, M. (2005) “*Introducción al análisis de flexibilidad de sistemas de tuberías*”.
9. Código ASME B31.1 (2020). “*Pipeline Processes*”.

10. Análisis de esfuerzos de las tuberías. (s.f.). recuperado de <https://es.betamachinery.com/services/pipe-stress-analysis>
11. Chuan, L (2009). *"Pipe Stress Engineering"*. Texas, Estados Unidos.
12. Zamora, G (2011). *"Análisis de flexibilidad del sistema de suministro y alivio de gas combustible para turbogeneradores e instalaciones en la planta Petromonagas"*. Universidad de Oriente, Ingeniería Mecánica. Anzoátegui, Venezuela.

**Bibliografía Adicional:**

- Escobar, F. Tovar, C. Arce, J. Jaramillo y J. Pacheco (2020). "Selection criteria for expansion joints in piping systems". Revista Journal of Pipeline Engineering, volumen 19. Oxford- Reino Unido.
- NORMA API RP 575 (2014). "Inspection of Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks".
- Arias, F. (2012) "El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica". Editorial Episteme. 6ta Edición. Caracas-Venezuela.
- Al-Shahrani, S.F. (2005). "Analysis of Piping Expansion Joints in the Petroleum Industry" Tesis de maestría, Universidad Rey Fahd de Petróleo y Minerales., Dhahran, Saudi Arabia.
- NORMA COVENIN 2400 (1993). "Mantenimiento de sistemas de tuberías".

**APENDICES.**  
**APÉNDICE A- REGISTROS FOTOGRÁFICOS.**



**Figura A1** Múltiple de distribución hacia tanque 250x4. Se indican en flecha el cabezal de  $\text{Ø}=34''$  (izquierda), la línea de  $\text{Ø}=30''$  (cabezal de  $\text{Ø}=30''$ ) a la derecha y dentro del círculo el ramal de  $\text{Ø}=30''$  (no observado en sitio) que conectaría al cabezal de  $\text{Ø}=34''$  con la línea de  $\text{Ø}=30''$  del tanque 250x4.

**Figura A2**  
donde el  
succión  
el cabezal



**Punto en**  
cabezal de  
de Ø=34\"/>

unen a una sola línea de Ø=30\", esta se conecta con el tanque 250x4.



**Figura A3** Vista del tendido de tuberías de Ø=12\", Ø=14\", Ø=16\" y Ø=18\" donde se muestran las juntas de expansión existentes en el múltiple de distribución hacia el tanque 250x4.



**Figura A4 Vista en la trinchera de las líneas cabezales que reciben y distribuyen residual correspondiente a los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4,250X5 y 250X6. Indicado con flecha los cabezales de  $\text{Ø}=30''$  y  $\text{Ø}=34''$  que fueron evaluados y dentro del círculo las líneas que no forman parte del alcance de este estudio**

**Figura A5 Vista lateral de las líneas de succión y descarga donde corre el tendido de tuberías.**



**A6  
de**

**Figura  
Línea**

**succión y descarga de diámetro de 34", se le instaló una brida ciega. Esta adopción se colocó debido a la imposibilidad de poner en funcionamiento dicha tubería. Como resultado, la empresa decidió inhabilitarla por completo.**



**Figura A7** Condición actual de las juntas de expansión, ubicadas las adyacencias del tanque de almacenamiento atmosférico 250X4.



**Figura A8** Condición actual de las juntas de expansión, se puede ver el desgaste esta junta se encuentra ubicada en las adyacencias del tanque de almacenamiento atmosférico 250X4.



**Figura A9** Cabezal de  $\text{Ø}=30''$  desde tanques 250x4/5 hacia las plantas de la refinera.



**Figura A10** Cabezales Principales de residual de  $\text{Ø}=12''$ ,  $\text{Ø}=14''$ ,  $\text{Ø}=16''$ ,  $\text{Ø}=18''$  y  $\text{Ø}=34''$ . La flecha señala el punto de conexión del cabezal principal de 34" con el cabezal de 34" de los tanques 250X4/5/6, punto que corresponde al límite de batería del alcance del estudio de flexibilidad.

**APÉNDICE B – ISOMÉTRICOS DEL DISEÑO ORIGINAL.**

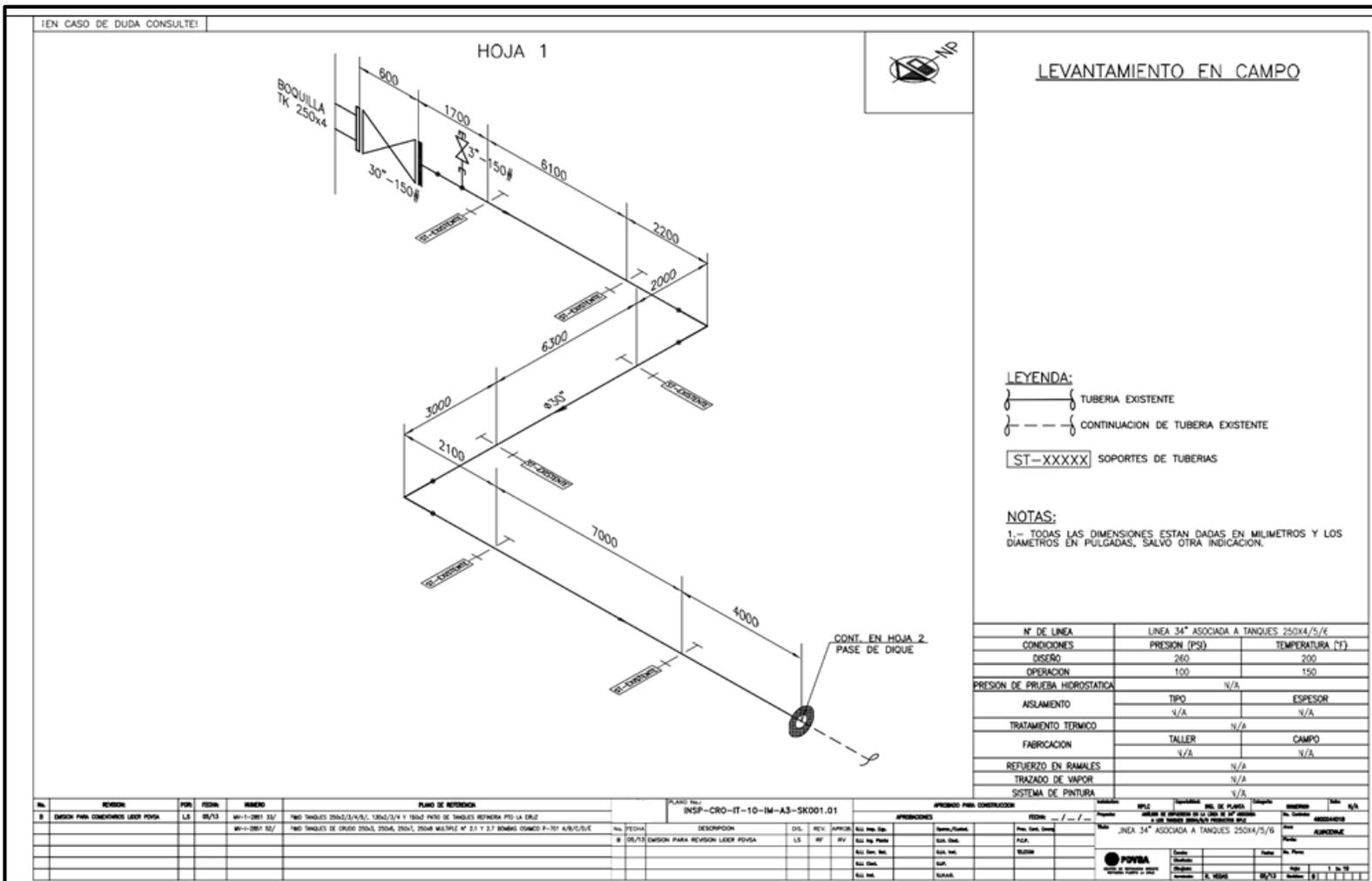


Figura B1 Isométricos del Diseño Original - Plano 01.

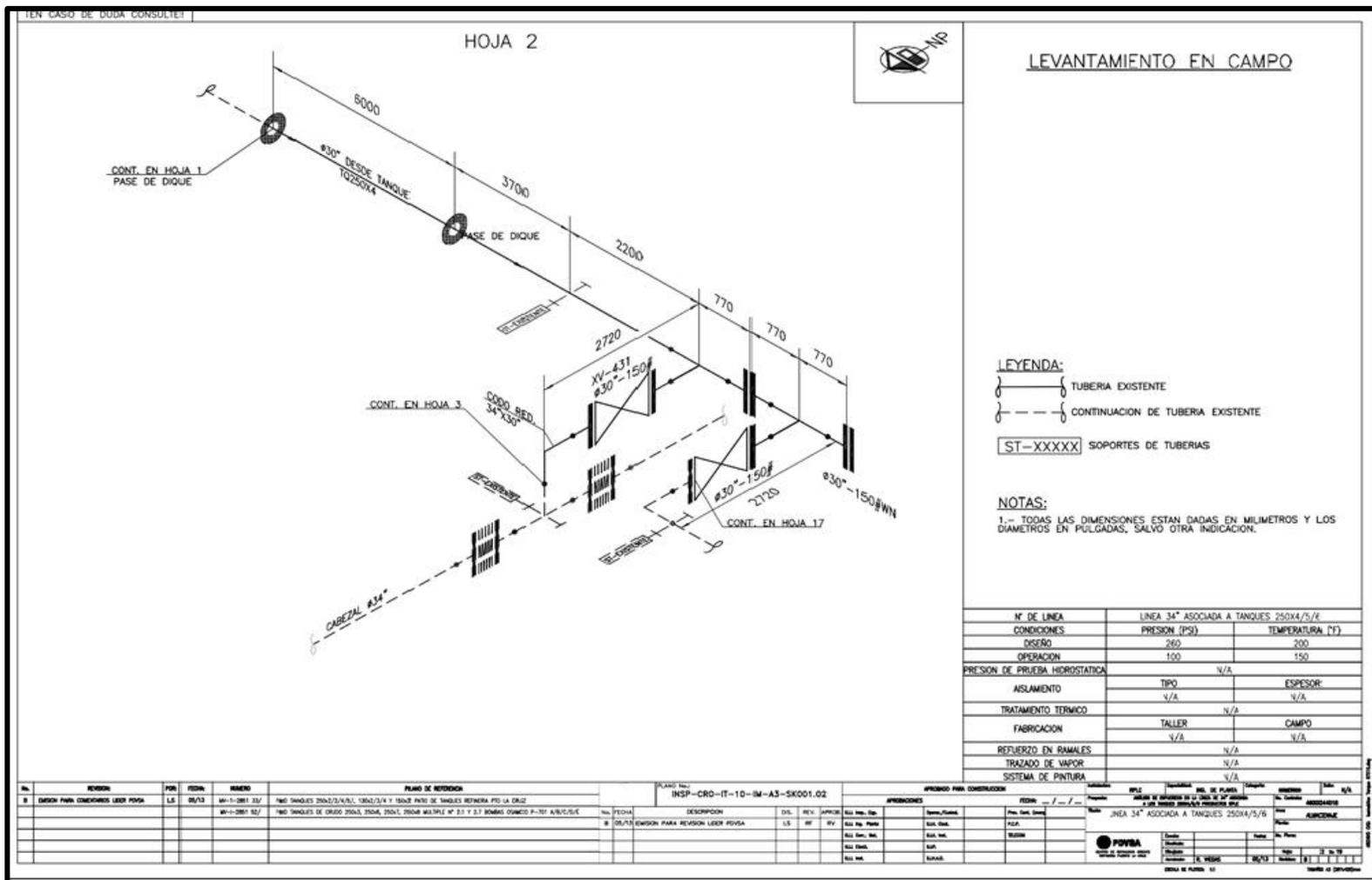


Figura B2 Isométricos del Diseño Original - Plano 02.

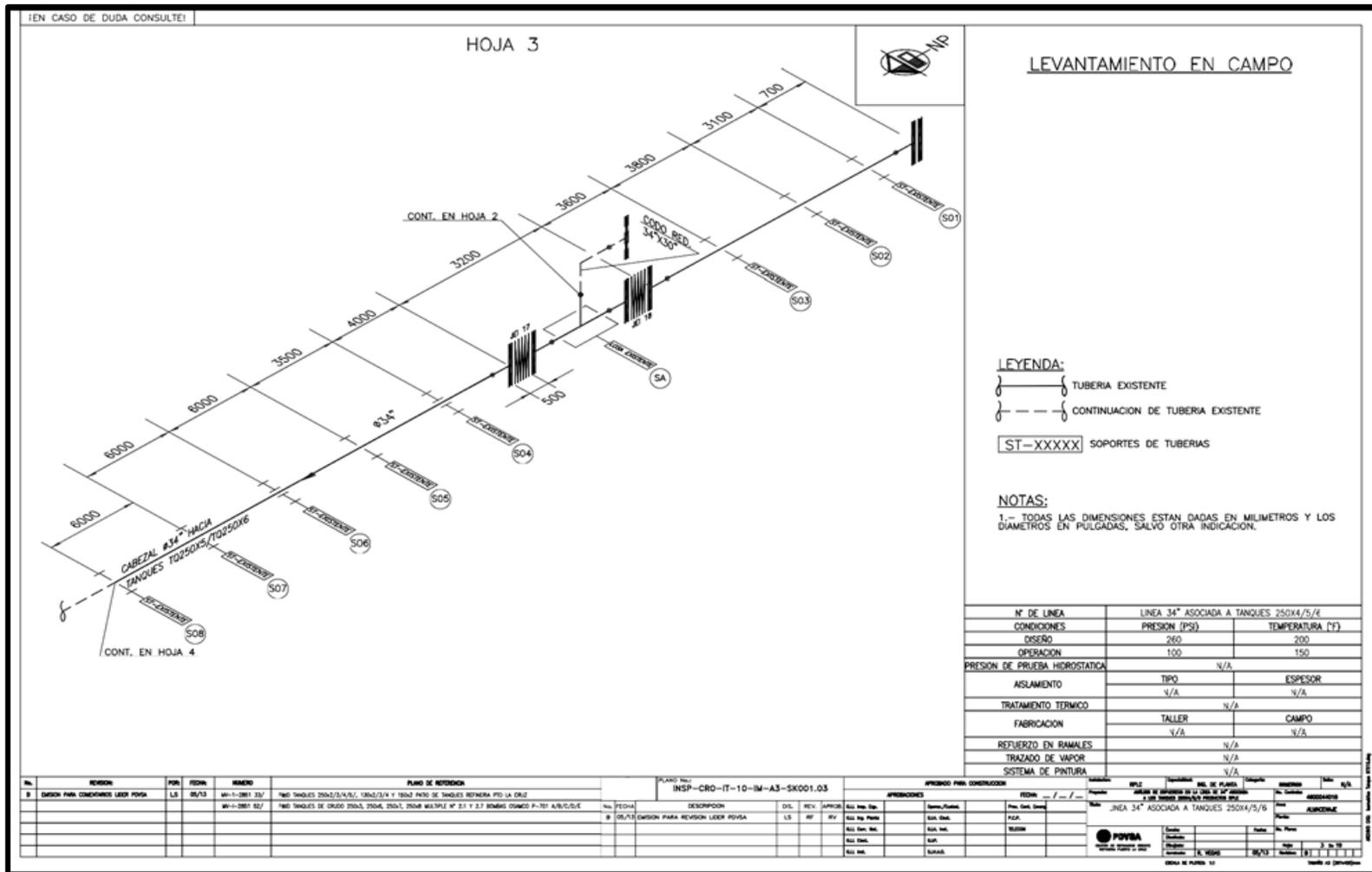


Figura B3 Isométricos del Diseño Original - Plano 03.

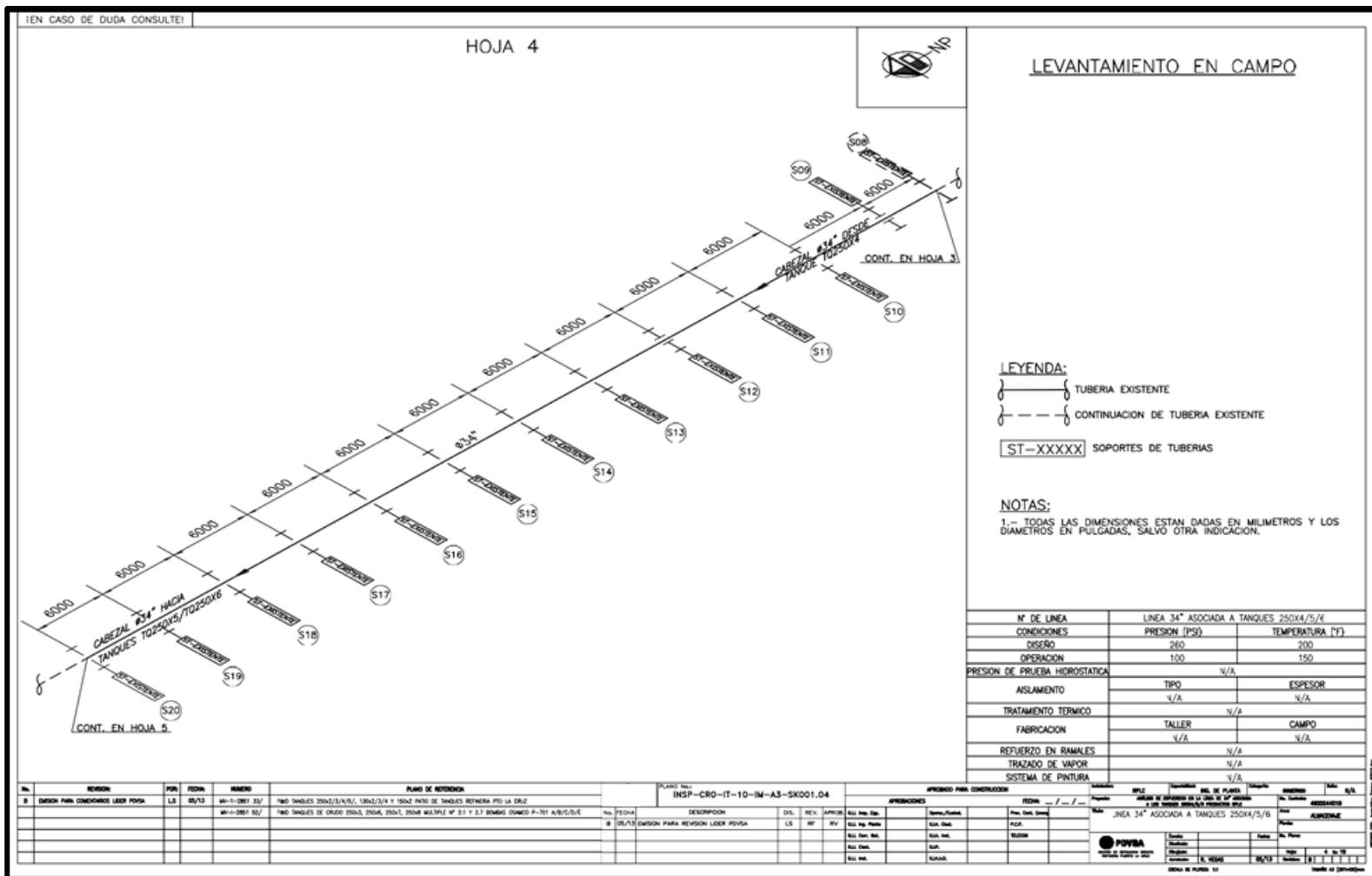


Figura B4 Isométricos del Diseño Original - Plano 04.





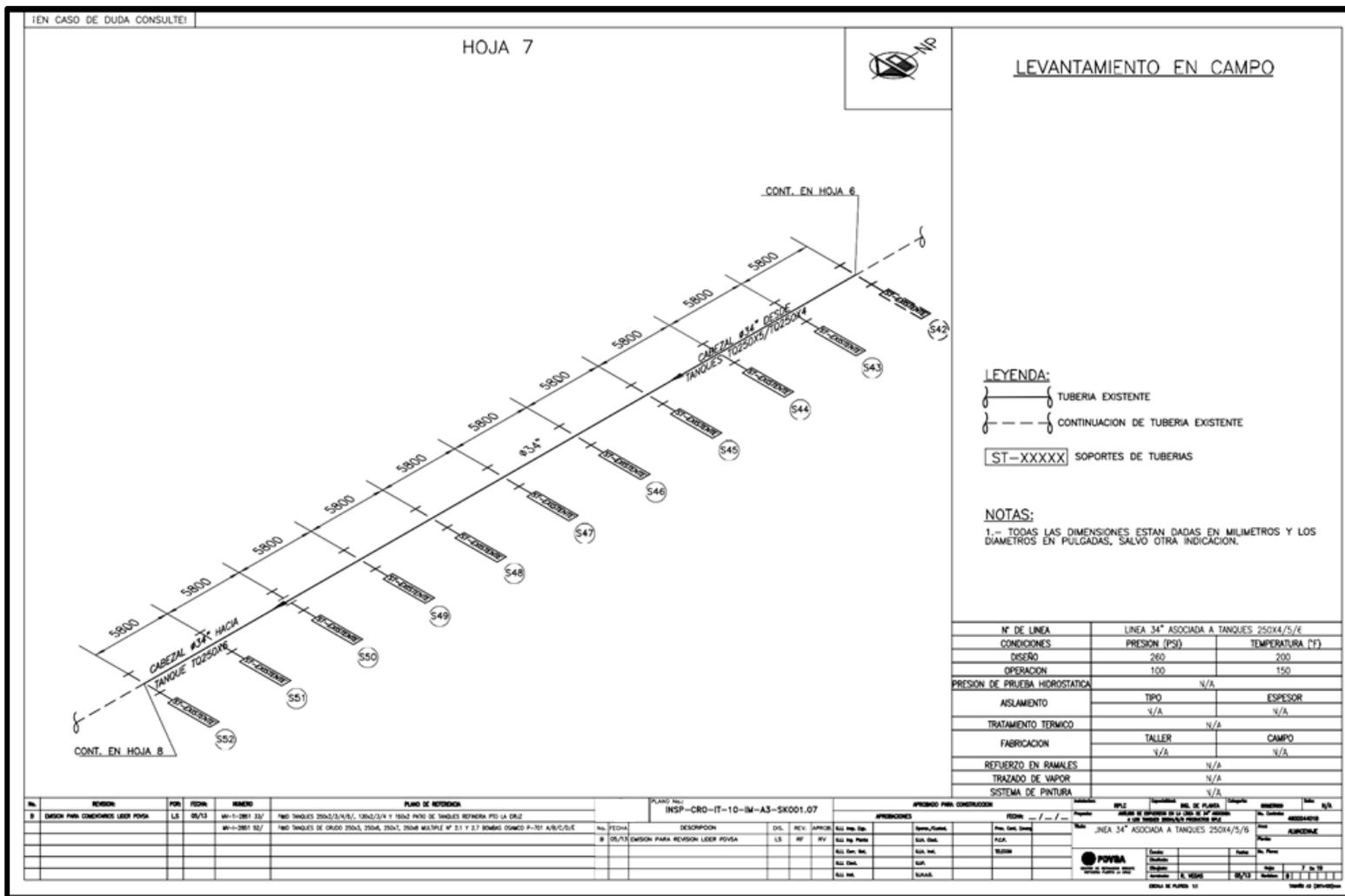


Figura B7 Isométricos del Diseño Original - Plano 07.





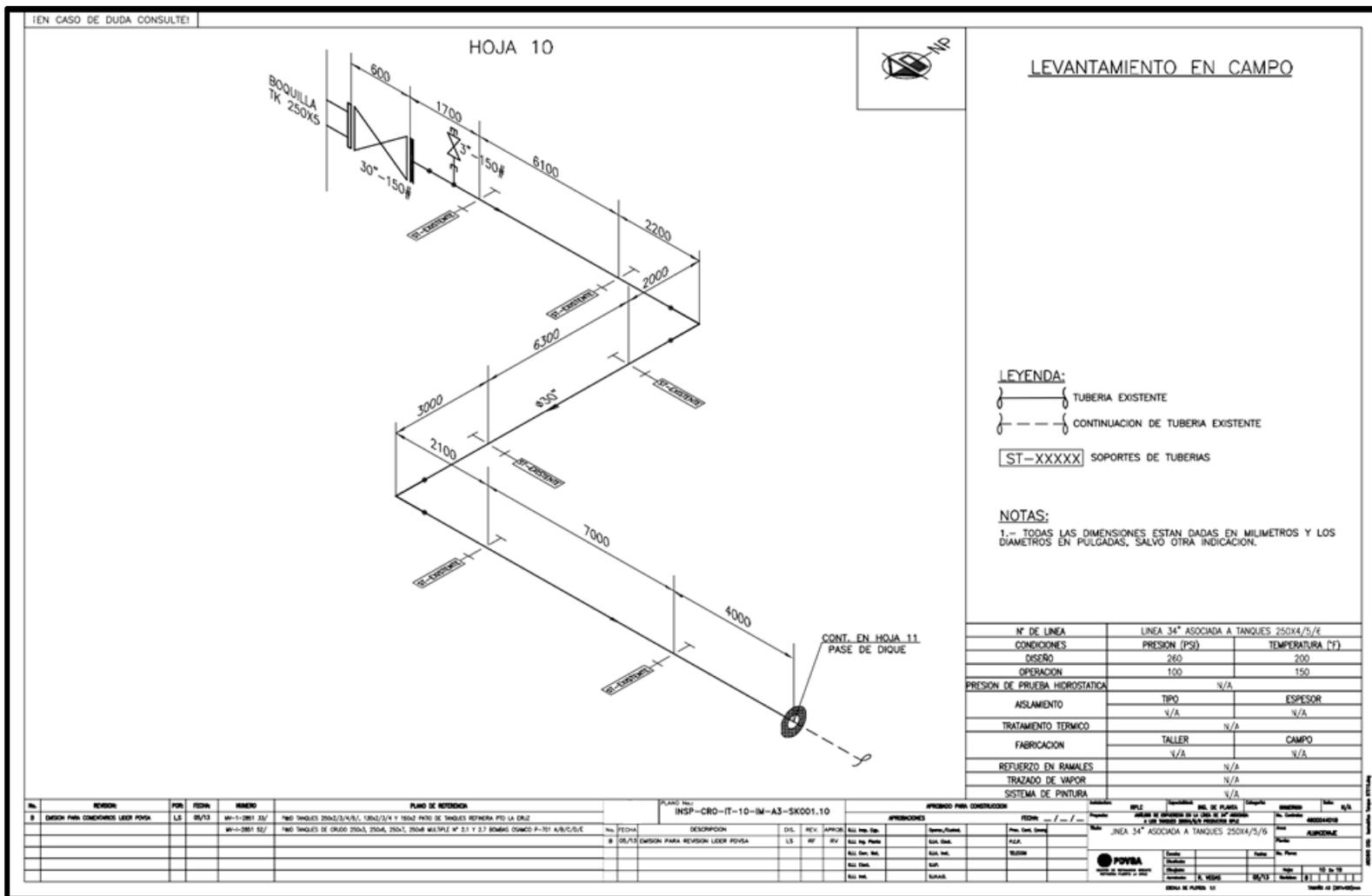
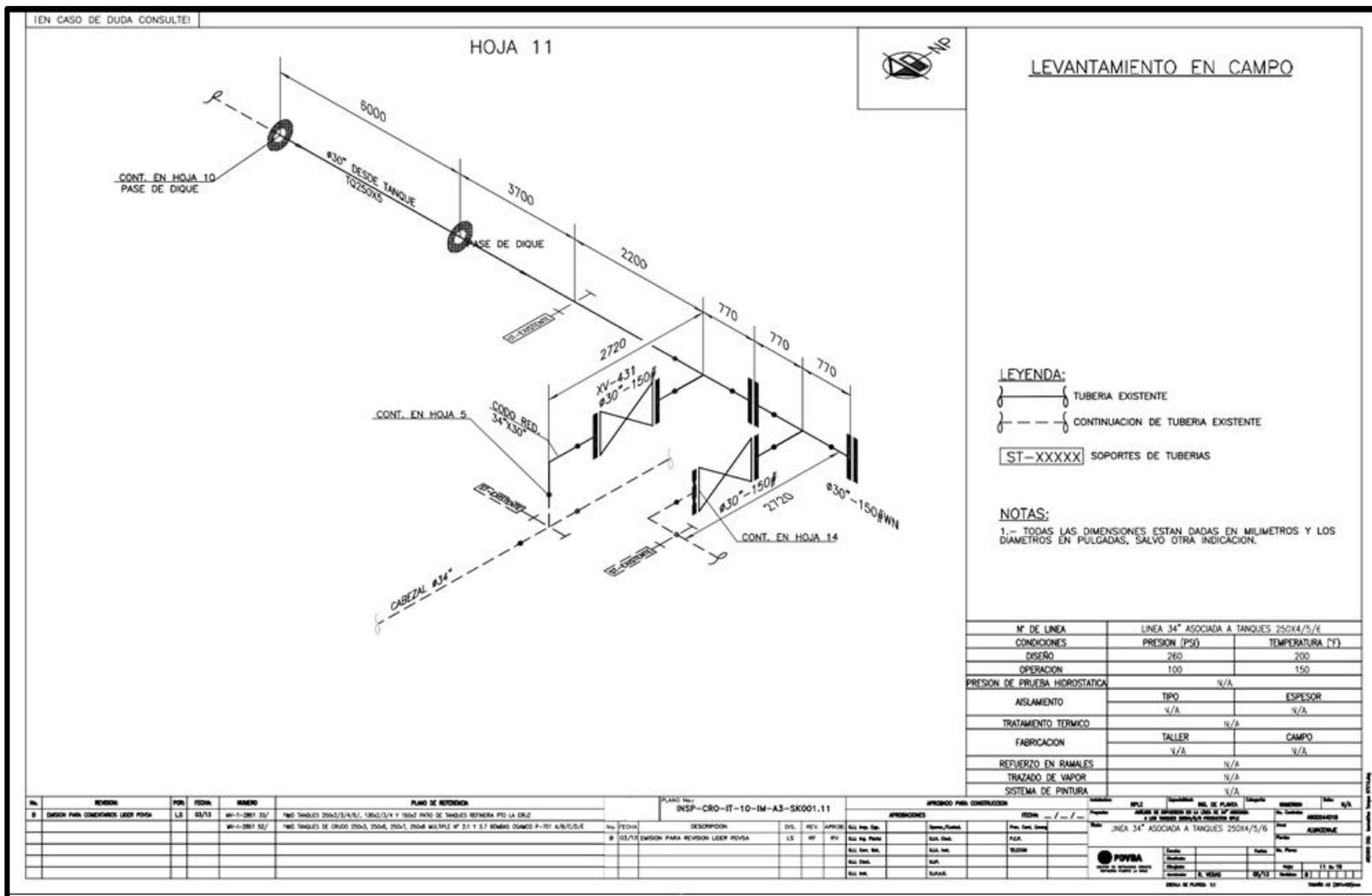


Figura B10 Isométricos del Diseño Original - Plano 10.





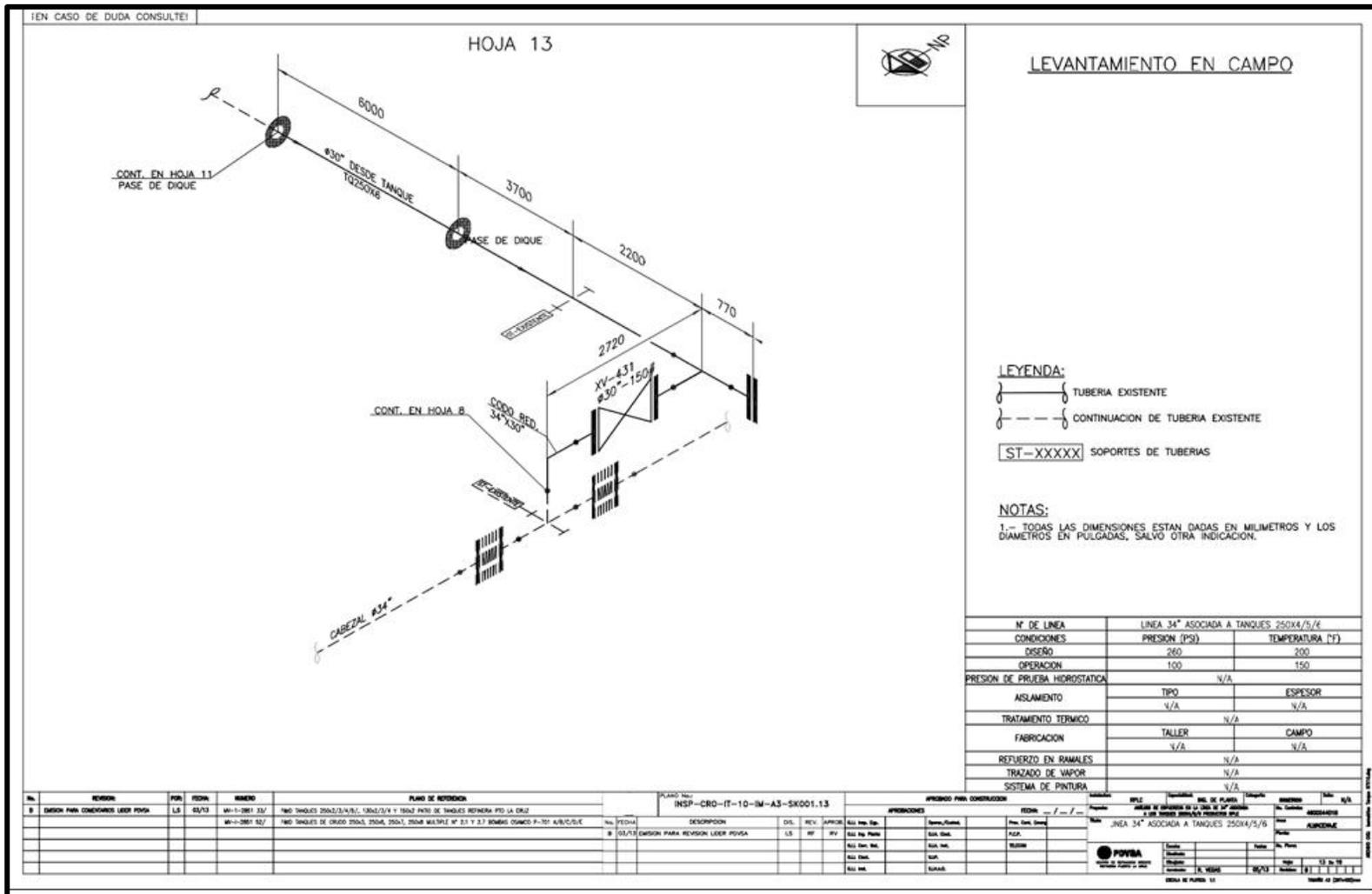


Figura B13 Isométricos del Diseño Original - Plano 13.

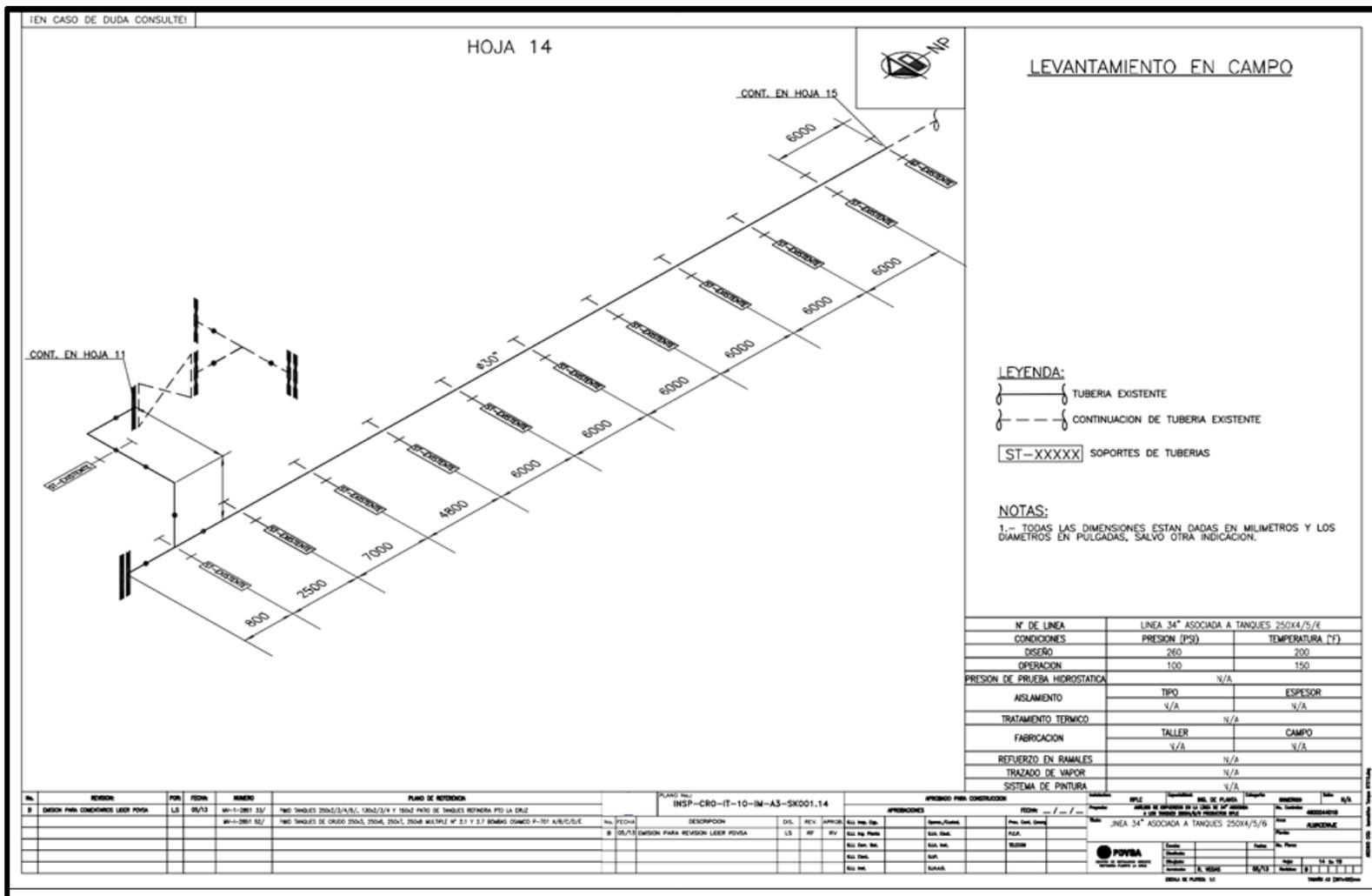


Figura B14 Isométricos del Diseño Original - Plano 14.



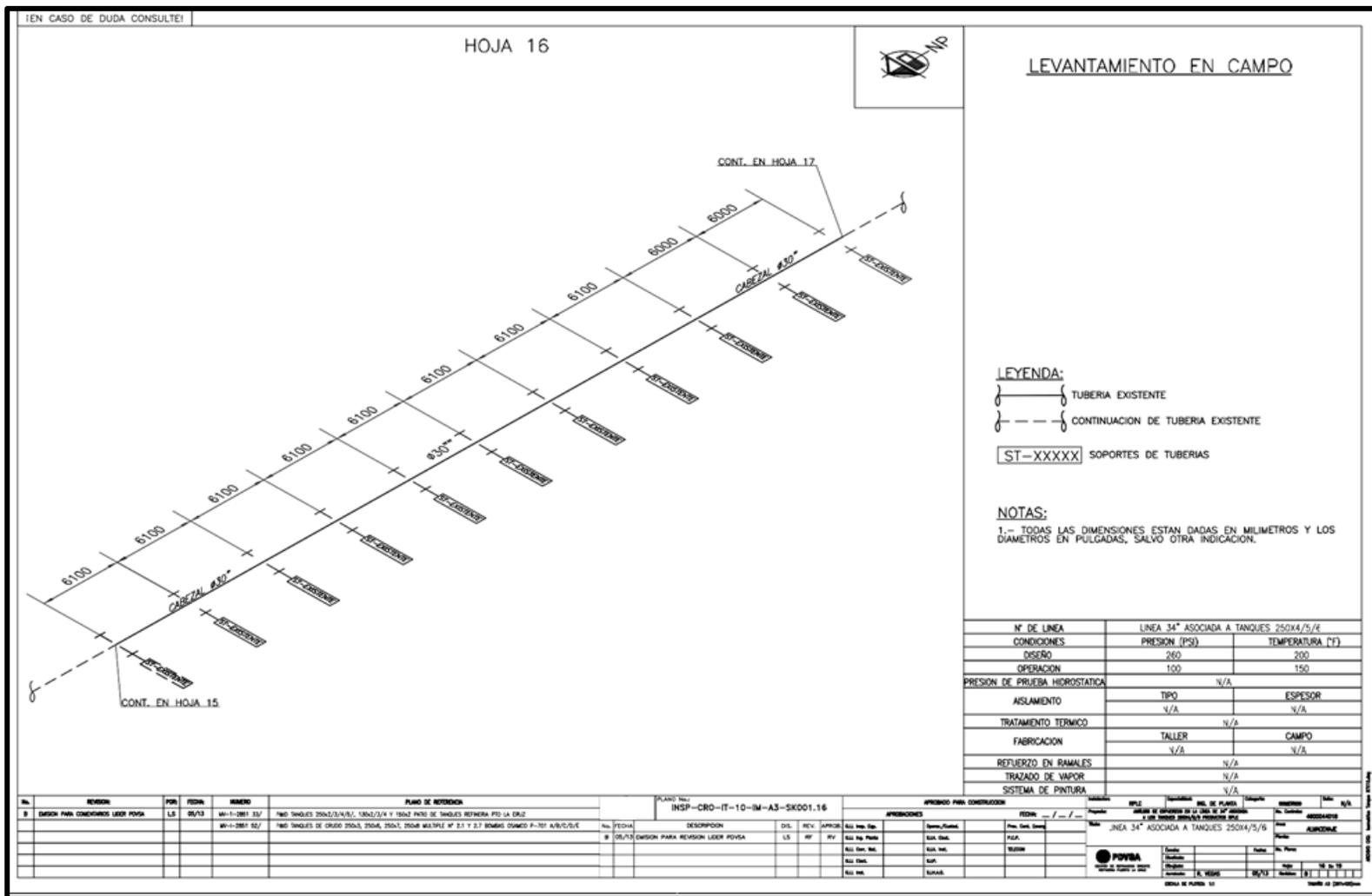


Figura B16 Isométricos del Diseño Original - Plano 16.

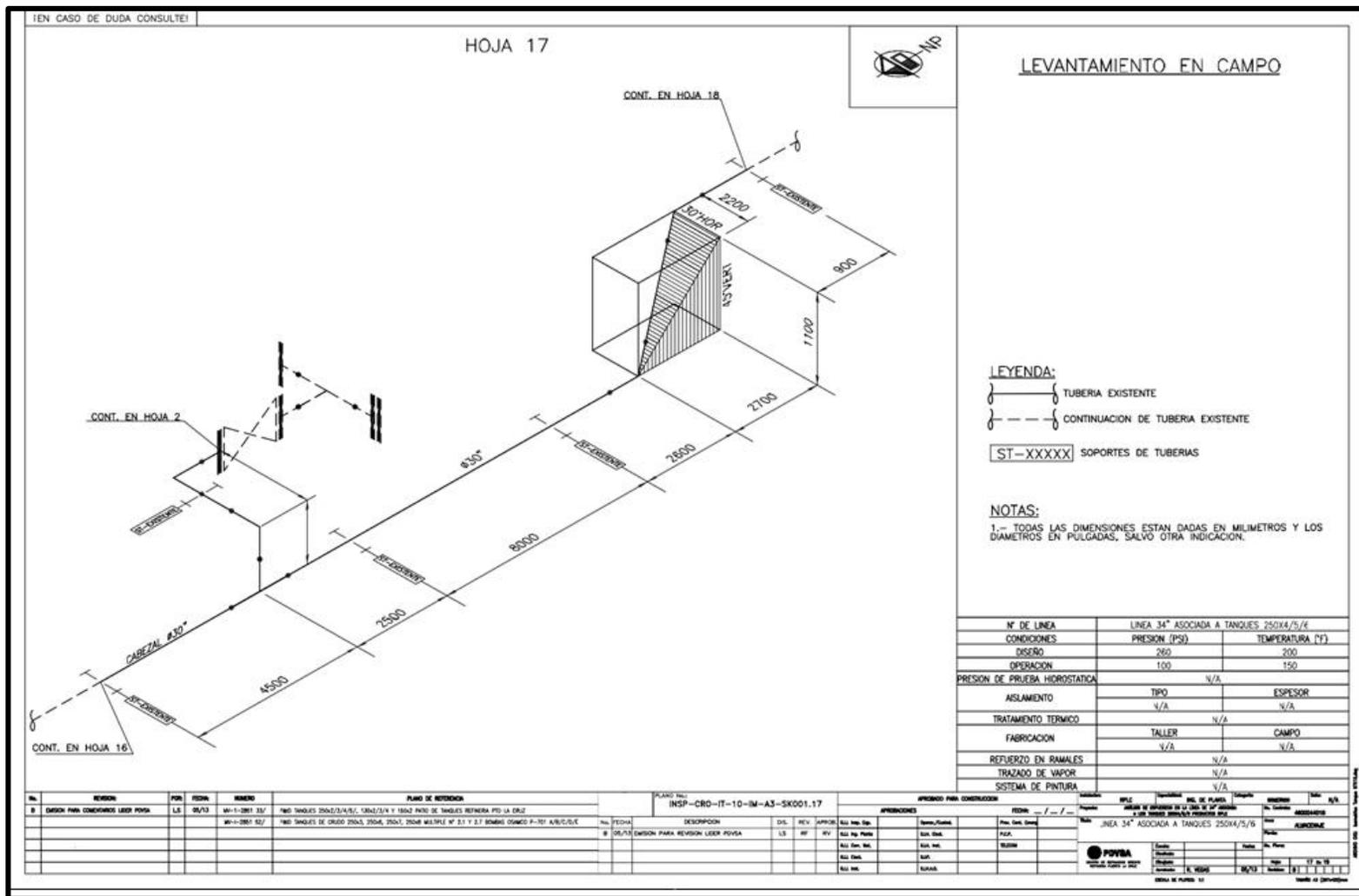


Figura B17 Isométricos del Diseño Original - Plano 17.



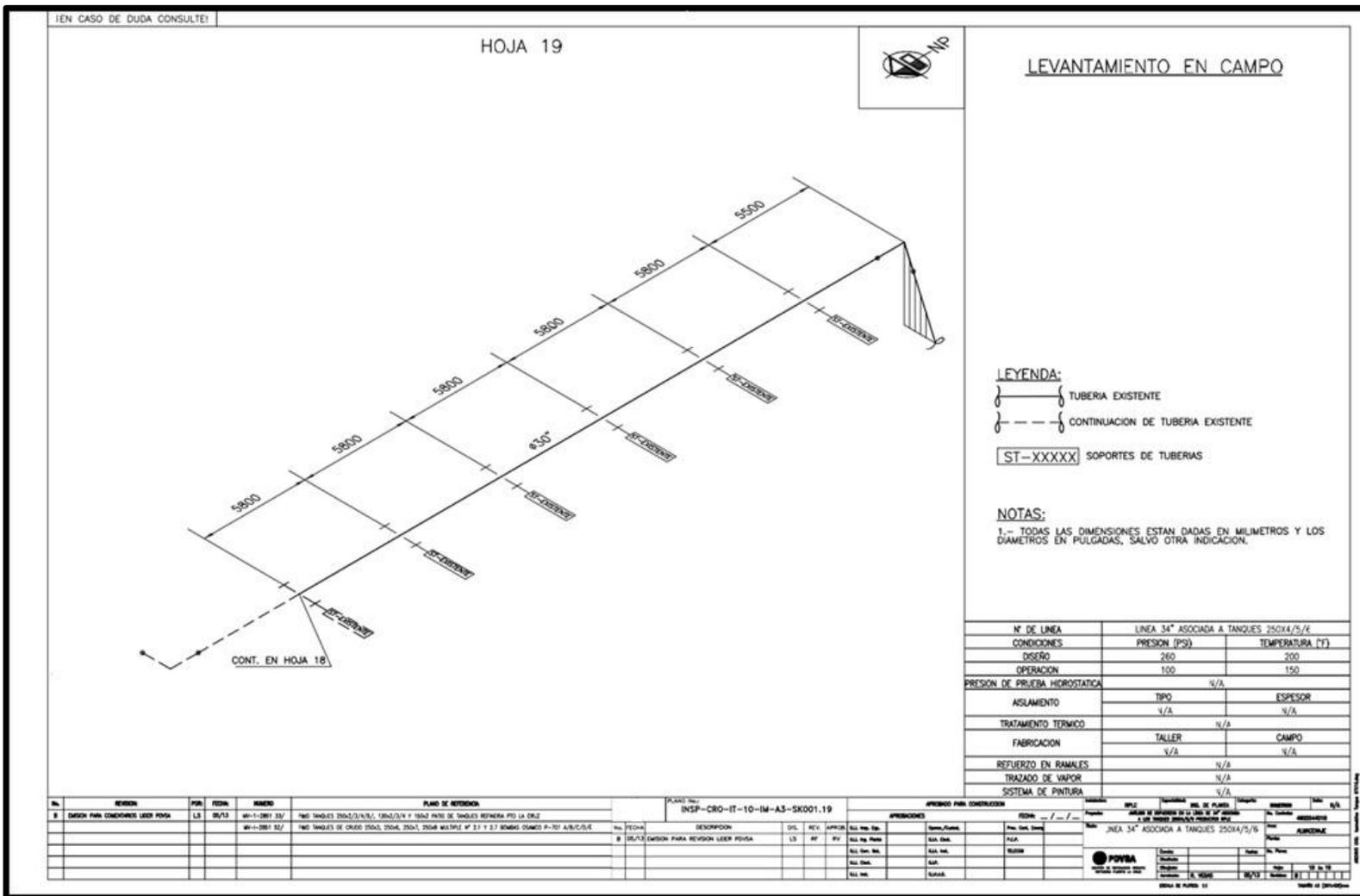


Figura B19 Isométricos del Diseño Original - Plano 19.

**APENDICE C- ISOMÉTRICOS DE MEDICIÓN DE ESPESORES**

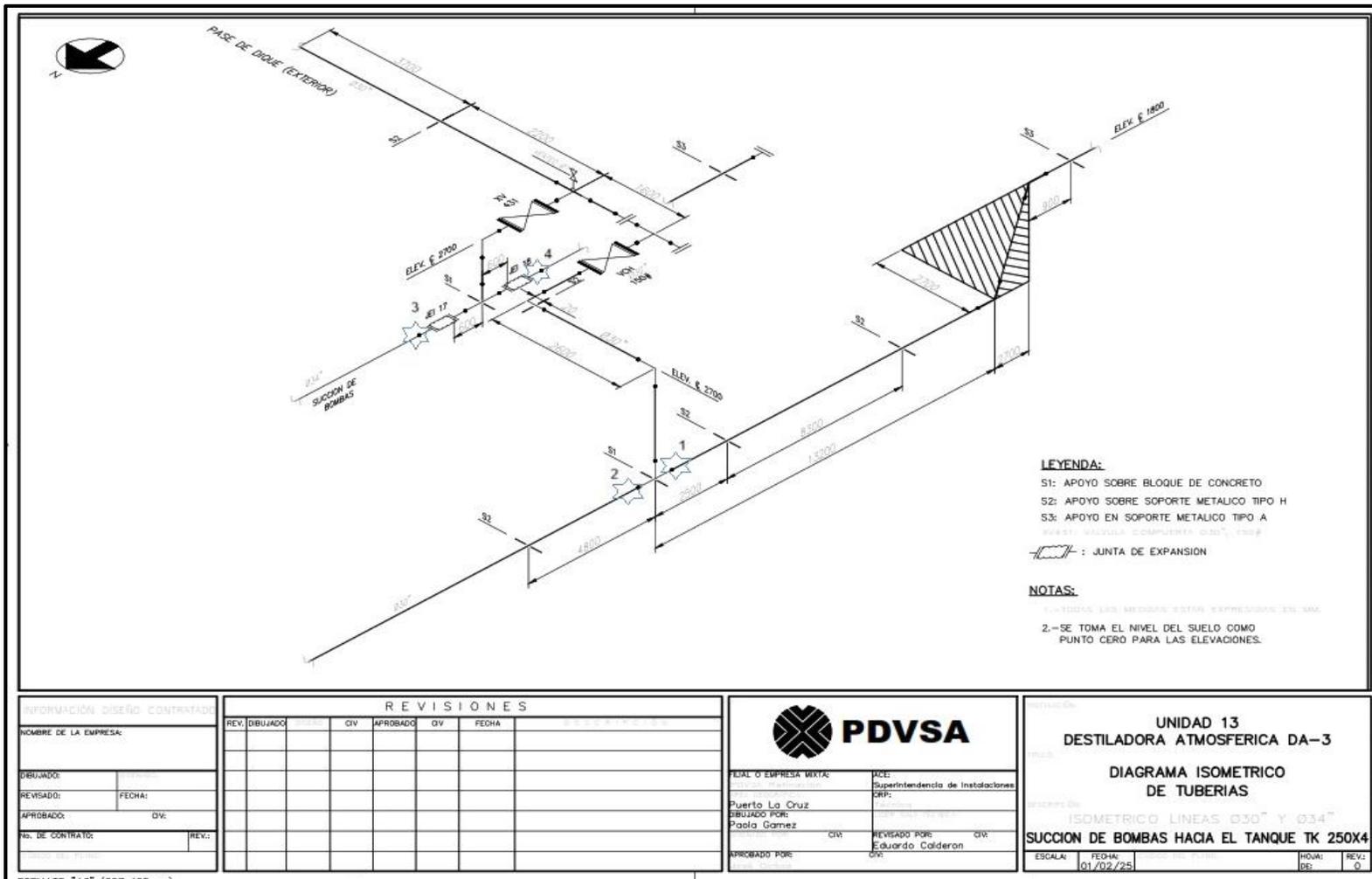


Figura B1 Isométricos de medición de espesores-Plano 1.





**APENDICE C – ISOMÉTRICOS CON LAS MEJORAS INCORPORADAS.**

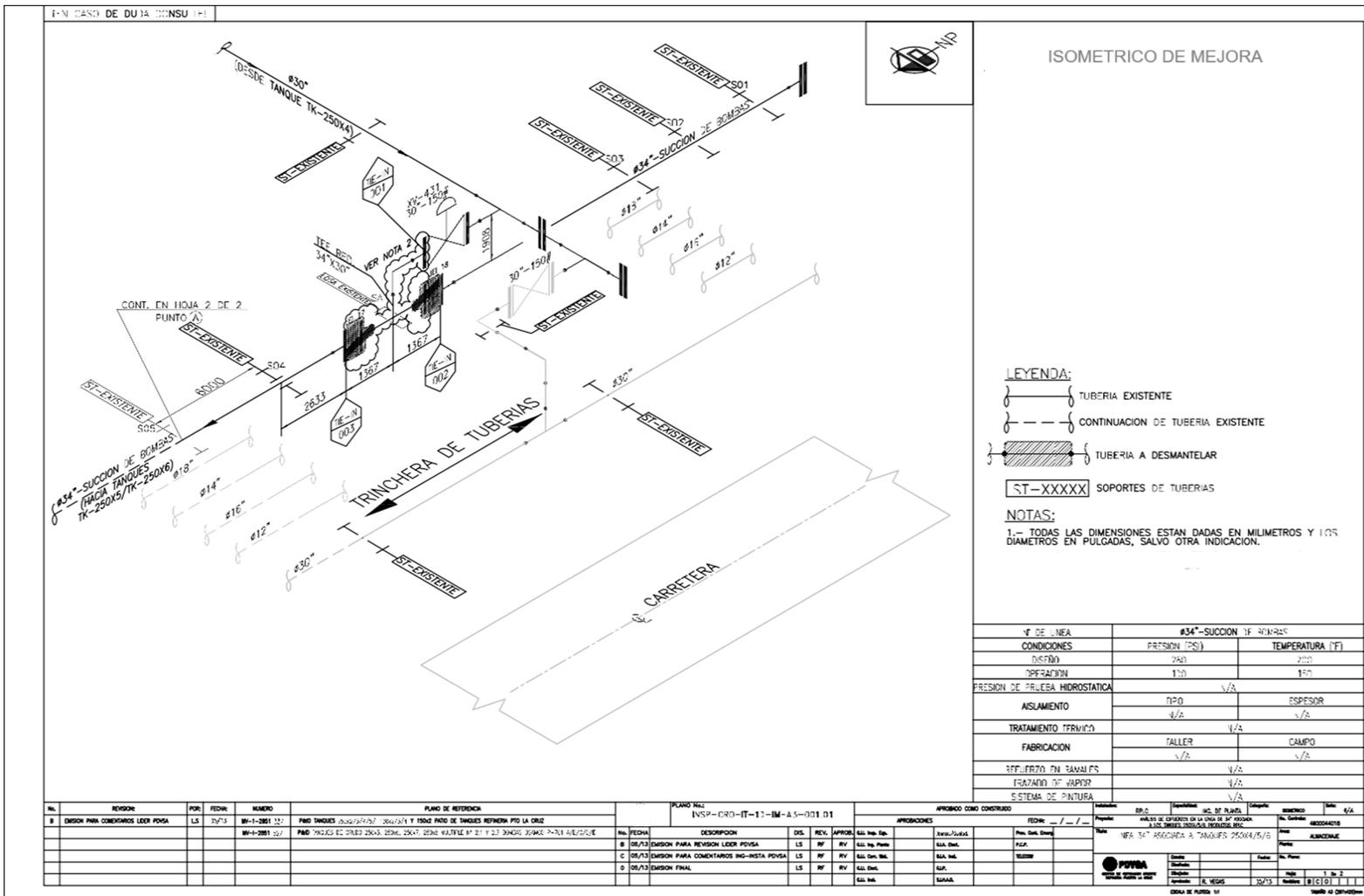


Figura C1 Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos-Plano 1.



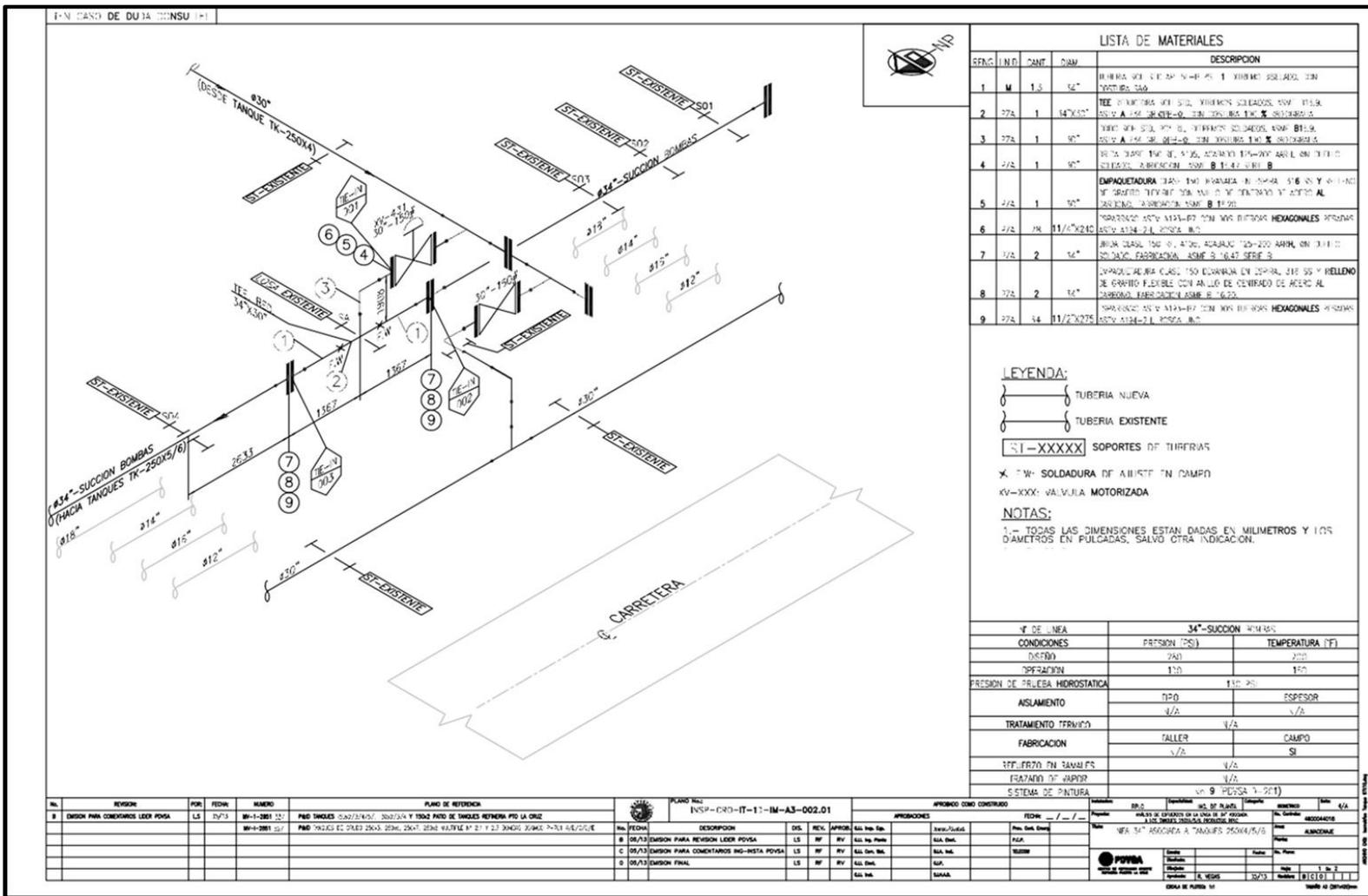


Figura C3 Arreglo de lazo de expansión, actualización de isométricos-Plano 3.



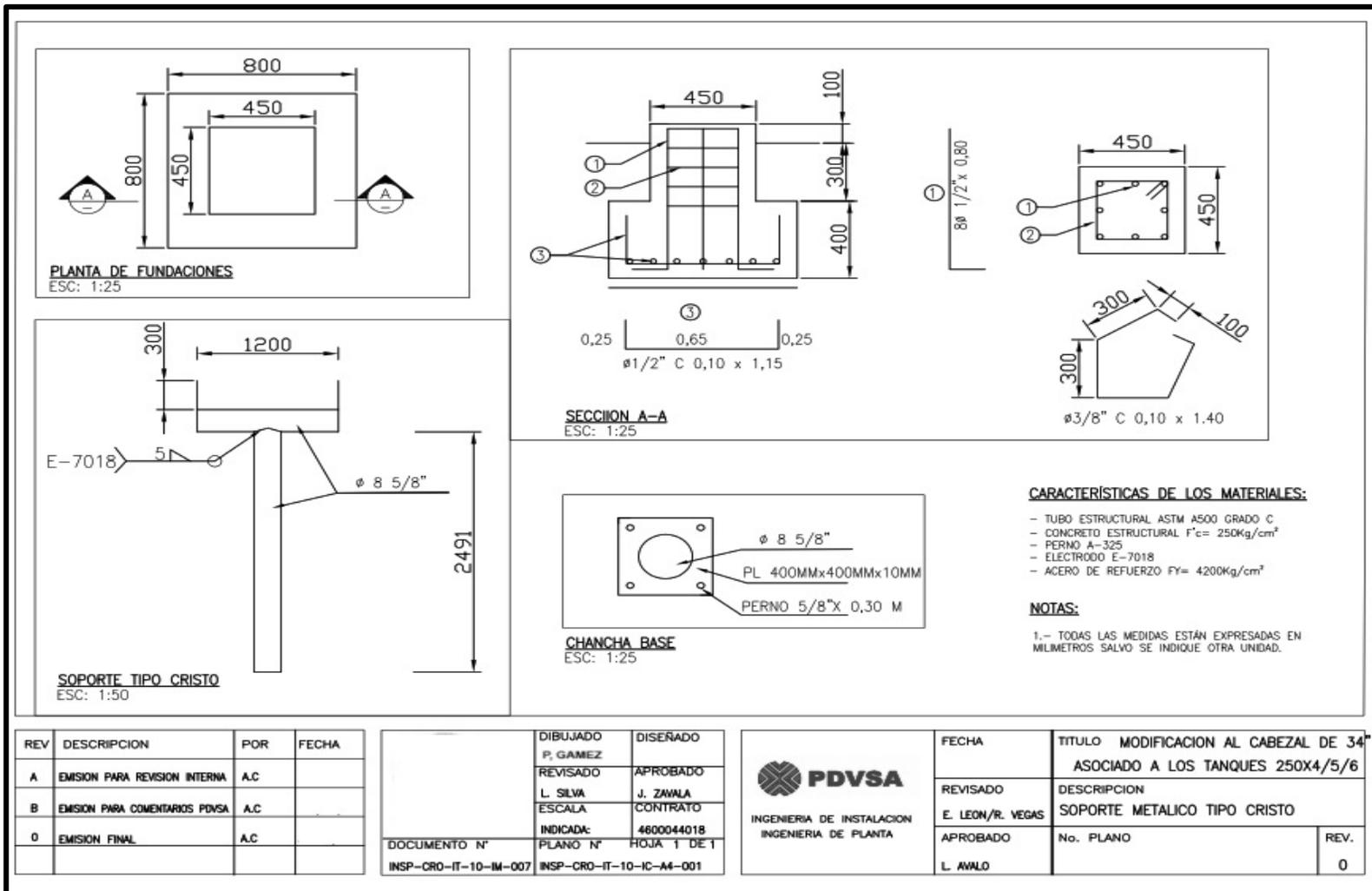


Figura C5 Soporte tipo "Cristo" perteneciente a la propuesta de mejora. Modificación al cabezal de 34"

## ANEXOS

### ANEXO A. CÁLCULO DE EXPANSIÓN TÉRMICA PARA LAZO EL EXPANSIÓN DE 34 PULGADAS DE LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA.

L Total: 250 mts

L Medio: 125 mts → 125000 mm

**Datos:**

- Tmax: 200°F → 93,33°C
- Tamb: 82.4°F → 28°C
- D 34": 863,6mm
- Coeficiente de expansión térmica acero ( $\alpha$ ):  $1,2 \times 10^{-5} \text{ 1. } ^\circ\text{C}$  (tabla 2.1) Para calcular la expansión lineal del material de la tubería se utilizó la ecuación 2.7

$$\Delta L: \alpha \cdot L \cdot (T_{max} - T_{amb})$$

$$\Delta L: 1,2 \times 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} (125000) (93,33-28) ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta L: 97,95 \approx 98 \text{ mm a pulg } 3,85$$

**ANEXO B - TABLA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE  
ACERO AL CARBONO UTILIZADAS EN LA MEDICIÓN DE ESPESORES.**

**B-13a. Tuberías comerciales de acero. Con base en ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970**

**Espesor de la tubería según número de cédula**

	Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior		Medida nominal de la tubería	Diámetro exterior	Espesor	Diámetro interior
	pulgadas	mm	mm	mm		pulgadas	mm	mm	mm
Cédula 10	14	355.6	6.35	342.9	Cédula 80 (continuación)	3½	101.6	8.08	85.4
	16	406.4	6.35	393.7		4	114.3	8.56	97.2
	18	457.2	6.35	444.5		5	141.3	9.52	122.3
	20	508.0	6.35	495.3		6	168.3	10.97	146.4
	24	609.6	6.35	596.9		8	219.1	12.70	193.7
Cédula 20	30	762.0	7.92	746.2	10	273.0	15.09	242.8	
	8	219.1	6.35	206.4	12	323.9	17.47	289.0	
	10	273.0	6.35	260.3	14	355.6	19.05	317.5	
	12	323.9	6.35	311.2	16	406.4	21.44	363.5	
	14	355.6	7.92	339.8	18	457.2	23.82	409.6	
	16	406.4	7.92	390.6	20	508.0	26.19	455.6	
	18	457.2	7.92	441.4	24	609.6	30.96	547.7	
Cédula 30	20	508.0	9.52	489.0	Cédula 100	8	219.1	15.09	188.9
	24	609.6	9.52	590.6		10	273.0	18.26	236.5
	30	762.0	12.70	736.6		12	323.9	21.44	281.0
	8	219.1	7.04	205.0		14	355.6	23.82	308.0
	10	273.0	7.80	267.4		16	406.4	26.19	354.0
	12	323.9	8.38	307.1	18	457.2	29.36	398.5	
	14	355.6	9.52	336.6	20	508.0	32.54	442.9	
Cédula 40	16	406.4	9.52	387.4	24	609.6	38.89	531.8	
	18	457.2	11.13	434.9	Cédula 120	4	114.3	11.13	92.0
	20	508.0	12.70	482.6		5	141.3	12.70	115.9
	24	609.6	14.27	581.1		6	168.3	14.27	139.8
	30	762.0	15.88	730.2		8	219.1	18.26	182.6
	1/8	10.3	1.73	6.8		10	273.0	21.44	230.1
	¼	13.7	2.24	9.2	12	323.9	25.40	273.1	
¾	17.1	2.31	12.5	14	355.6	27.79	300.0		
Cédula 60	½	21.3	2.77	15.8	16	406.4	30.96	344.5	
	¾	26.7	2.87	21.0	18	457.2	34.92	387.4	
	1	33.4	3.38	26.6	20	508.0	38.10	431.8	
	1¼	42.2	3.56	35.1	24	609.6	46.02	517.6	
	1%	48.3	3.68	40.9	Cédula 140	8	219.1	20.62	177.9
	2	60.3	3.91	52.8		10	273.0	25.40	222.2
	2½	73.0	5.16	62.7		12	323.9	28.58	266.7
	3	88.9	5.49	77.9		14	355.6	31.75	292.1
	3%	101.6	5.74	90.1		16	406.4	36.52	333.4
	4	114.3	6.02	102.3	18	457.2	39.69	377.8	
	5	141.3	6.55	128.2	20	508.0	44.45	419.1	
	6	168.3	7.11	154.1	24	609.6	52.39	504.8	
	Cédula 80	8	219.1	8.18	202.7	Cédula 160	½	21.3	4.78
10		273.0	9.27	254.5	¾		26.7	5.56	15.6
12		323.9	10.31	303.3	1		33.4	6.35	20.7
14		355.6	11.13	333.3	1¼		42.2	6.35	29.5
16		406.4	12.70	381.0	1½		48.3	7.14	34.0
18		457.2	14.27	428.7	2	60.3	8.74	42.8	
20		508.0	15.09	477.8	2½	73.0	9.52	54.0	
24		609.6	17.48	574.6	3	88.9	11.13	66.6	
Cédula 60		8	219.1	10.31	198.5	4	114.3	13.49	87.3
		10	273.0	12.70	247.6	5	141.3	15.88	109.5
		12	323.9	14.27	295.4	6	168.3	18.26	131.8
		14	355.6	15.09	325.4	8	219.1	23.01	173.1
		16	406.4	16.64	373.1	10	273.0	28.58	215.8
Cédula 80	18	457.2	19.05	419.1	12	323.9	33.34	257.2	
	20	508.0	20.62	466.8	14	355.6	35.71	284.2	
	24	609.6	24.61	560.4	16	406.4	40.49	325.4	
	1/4	10.3	2.41	5.5	18	457.2	45.24	366.7	
	¼	13.7	3.02	7.7	20	508.0	50.01	408.0	
	¾	17.1	3.20	10.7	24	609.6	59.54	490.5	
	½	21.3	3.73	13.8					
	¾	26.7	3.91	18.9					
	1	33.4	4.55	24.3					
	1¼	42.2	4.85	32.5					
1½	48.3	5.08	38.1						
2	60.3	5.54	49.2						
2½	73.0	7.01	59.0						
3	88.9	7.62	73.7						

**B-14. Datos técnicos de las tuberías (continuación)**

**Aceros al carbón - Aceros inoxidables**

Medida nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior D.E. (pulgadas)	Identificación			Espesor de pared t (pulgadas)	Diámetro interior d (pulgadas)	Área metálica (pulgadas cuadradas)	Área interna transversal		Momento de inercia I (pulgadas <sup>4</sup> )	Peso de la tubería (libras por pie)	Peso de agua (libras por pie de tubería)	Superficie externa (pies cuadrados por pie de tubería)	Módulo de sección (2 I / D.E.)
		Tubería de hierro	Medida Número de cédula	Número de cédula en acero inoxidable				Área interna transversal						
								a (pulgadas cuadradas)	A (pies cuadrados)					
24	24.00	...	...	5s	.218	23.564	16.29	436.10	3.0285	1151.6	55.37	188.98	6.283	96.0
		...	10	10s	.250	23.500	18.65	433.74	3.0121	1315.4	63.41	187.95	6.283	109.6
		STD	20	...	.375	23.250	27.83	424.56	2.9483	1942.0	94.62	183.95	6.283	161.9
		X S	...	...	.500	23.000	36.91	415.48	2.8853	2549.5	125.49	179.87	6.285	212.5
		...	30	...	.562	22.876	41.39	411.00	2.8542	2843.0	140.68	178.09	6.283	237.0
		...	40	...	.688	22.624	50.31	402.07	2.7921	3421.3	171.29	174.23	6.283	285.1
		...	60	...	.969	22.062	70.04	382.35	2.6552	4652.8	238.35	165.52	6.283	387.7
		...	80	...	1.219	21.562	87.17	365.22	2.5362	5672.0	296.58	158.26	6.283	472.8
		...	100	...	1.531	20.938	108.07	344.32	2.3911	6849.9	367.39	149.06	6.283	570.8
		...	120	...	1.812	20.376	126.31	326.08	2.2645	7825.0	429.39	141.17	6.283	652.1
		...	140	...	2.062	19.876	142.11	310.28	2.1547	8625.0	483.12	134.45	6.283	718.9
		...	160	...	2.344	19.312	159.41	292.98	2.03%	9455.9	542.13	126.84	6.283	787.9
26	26.00	...	10	...	.312	25.376	25.18	505.75	3.5122	2077.2	85.60	219.16	6.806	159.8
		STD	20	...	.375	25.250	30.19	500.74	3.4774	2478.4	102.63	216.99	6.806	190.6
		X S	...	...	.500	25.000	40.06	490.87	3.4088	3257.0	136.17	212.71	6.806	250.5
28	28.00	...	10	...	.312	27.376	27.14	588.61	4.0876	2601.0	92.26	255.07	7.330	185.8
		STD	20	...	.375	27.250	32.54	583.21	4.0501	3105.1	110.64	252.73	7.330	221.8
		X S	...	...	.500	27.000	43.20	572.56	3.9761	4084.8	146.85	248.11	7.330	291.8
30	30.00	...	30	...	.625	26.750	53.75	562.00	3.9028	5037.7	182.73	243.53	7.330	359.8
		...	10	5s	.250	29.500	23.37	683.49	5.77%	2585.2	79.43	296.18	7.854	172.3
		...	10	10s	.312	29.376	29.10	677.76	1.7067	3206.3	98.93	293.70	7.854	213.8
32	32.00	STD	20	...	.375	29.250	34.90	671.96	6.6664	3829.4	118.65	291.18	7.854	255.3
		X S	...	...	.500	29.000	46.34	660.52	4.5869	5042.2	157.53	286.22	7.854	336.1
		...	30	...	.625	28.750	57.68	649.18	4.5082	6224.0	196.08	281.31	7.854	414.9
34	34.00	...	10	...	.312	31.376	31.06	773.19	5.3694	3898.9	105.59	335.05	8.378	243.7
		STD	20	...	.375	31.250	37.26	766.99	5.3263	4658.5	126.66	332.36	8.378	291.2
		X S	...	...	.500	31.000	49.48	754.77	5.2414	6138.6	168.21	327.06	8.378	383.7
		...	30	...	.625	30.750	61.60	742.64	5.1572	7583.4	199.43	321.81	8.378	474.0
		...	40	...	.688	30.624	67.68	736.57	5.1151	8298.3	230.08	319.18	8.378	518.6
36	36.00	...	10	...	.344	33.312	36.37	871.55	6.0524	5153.5	123.65	377.67	8.901	303.0
		STD	20	...	.375	33.250	39.61	868.31	6.0299	5599.3	134.67	376.27	8.901	329.4
		X S	...	...	.500	33.000	52.62	855.30	5.9396	7383.5	178.89	370.63	8.901	434.3
		...	30	...	.625	32.750	65.53	842.39	5.8499	9127.6	222.78	365.03	8.901	536.9
36	36.00	...	40	...	.688	32.624	72.00	835.92	5.8050	9991.6	234.77	362.23	8.901	587.7
		...	10	...	.312	35.376	34.98	982.90	5.8257	5569.5	118.92	425.92	9.425	309.4
		STD	20	...	.375	35.250	41.97	975.91	1.7771	6658.9	142.68	422.89	9.425	369.9
		X S	...	...	.500	35.000	55.76	162.11	5.6813	8786.2	189.57	416.91	9.425	488.1
36	36.00	...	30	...	.625	34.750	69.46	348.42	5.5862	8068.4	236.13	417.22	9.425	603.8
		...	40	...	.750	34.500	83.06	334.82	5.4918	2906.1	282.35	405.09	9.425	717.0

Los datos técnicos de identificación, espesor de pared y peso, están basados en ANSI B.36.10 y B36.19. Las notaciones STD, XS, y XXS indican estándar, extra fuerte y doble extra fuerte, respectivamente. Los valores del área interna transversal presentados en "pies cuadrados", también representan el volumen de la tubería en pies cúbicos por cada pie de longitud de tubería.

**ANEXO C. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEJORA PARA  
LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA, INCORPORACIÓN DEL LAZO  
DE EXPANSIÓN.**

**Anexo C. Memoria Descriptiva.**

**C.1 Modificaciones a Ejecutar:**

La intervención consiste en la fabricación e instalación de un lazo de expansión en el cabezal de 34", comenzando con el desmantelamiento de un tramo de tubería de 6.000 mm de longitud, situado entre los soportes S10 y S11 (correspondientes al séptimo y octavo soporte, contados desde el múltiple de distribución hacia el tanque 250X4). En este tramo se instalará un nuevo lazo de expansión, cuyas dimensiones y características seguirán lo indicado en el

isométrico de mejora INSP-CRO-IT-10-IM-A3-002.02, que se encuentra en el Apéndice 3.

Adicionalmente, esta alternativa incluye la fabricación e instalación de tres (03) soportes metálicos con pedestales de concreto. Estos soportes se ubicarán en los puntos especificados como "ST-NUEVO" en el isométrico previamente mencionado, asegurando el soporte adecuado para el lazo de expansión y contribuyendo a la estabilidad general del sistema de tuberías. Estos nuevos soportes serán diseñados para resistir las cargas generadas por la expansión térmica y los esfuerzos mecánicos, garantizando el correcto funcionamiento y la seguridad de las líneas de succión y descarga asociadas al tanque 250X4.

## **C.2 Desmantelamiento del Tramo de Tubería**

El desmontaje del tramo de 34" se realizará mediante el procedimiento de Hot Tapping. Para ello, se emplearán herramientas de corte especializadas, como esmeriles con discos adecuados para tuberías de acero al carbono de 10 mm de espesor, o equipos de oxicorte.

Para facilitar el corte y la posterior conexión del lazo de expansión con el cabezal existente, será necesario realizar excavaciones manuales (pico, pala, entre otros) en los puntos de conexión TIE-INS 004 y TIE-INS 005, señalados tanto en el isométrico de desmantelamiento INSP-CRO-IT-10-IM-A3-001.02 como en el isométrico de construcción INSP-CRO-IT-10-IM-A3-002.02. Estas excavaciones permitirán el acceso de herramientas y equipos para el corte y la soldadura de las juntas en campo.

Una vez completado el desmantelamiento, el tramo de tubería será movilizado con eslingas y una grúa adecuada, para posteriormente cargarlo en un camión y trasladarlo al sitio designado.

### **C.3 Fabricación e Instalación del Lazo de Expansión**

El nuevo lazo de expansión será fabricado en el área de Taller Central de la Refinería Puerto La Cruz, utilizando tuberías de acero al carbono API 5L-Gr B y accesorios de acero al carbono ASTM A-234 Gr WPB-W, con especificaciones de 34" SCH STD, las cuales son idénticas al material del cabezal existente. La elección de estos materiales garantiza una alta resistencia y durabilidad, acorde a las exigencias operativas y ambientales del sistema. Las dimensiones y características del lazo seguirán fielmente lo indicado en el isométrico de mejora INSP-CRO-IT-10-IM-A3-002.02, asegurando la coherencia en el diseño y la correcta integración con las líneas existentes. Este isométrico detallará aspectos cruciales, como el ángulo de curvatura, las longitudes y las conexiones, permitiendo que el lazo se instale correctamente, manteniendo la funcionalidad del sistema de tuberías.

Para su traslado e instalación en el sitio de trabajo, se requerirá una grúa con capacidad de hasta 4 toneladas, la cual se utilizará para transportar y posicionar el lazo de expansión de manera precisa. La capacidad de carga de la grúa ha sido seleccionada teniendo en cuenta el peso de las tuberías y accesorios, así como los requisitos de seguridad en el manejo de componentes de gran tamaño. Esta operación debe realizarse de manera controlada, con la supervisión del personal especializado para evitar daños durante el proceso de transporte.

El traslado e instalación del lazo de expansión será un proceso cuidadosamente planificado, ya que involucra la manipulación de

componentes de gran volumen y peso. Se seguirán procedimientos específicos para garantizar la seguridad en cada etapa, desde la carga en el taller hasta la colocación final en el sitio de instalación. Además, se realizarán inspecciones periódicas para verificar la alineación y las conexiones, asegurando que el lazo de expansión se instale correctamente y cumpla con las especificaciones técnicas previamente definidas.

#### **C.4 Soldadura e inspección**

Será necesario realizar excavaciones manuales en los puntos identificados como FW (Puntos de soldadura en campo) en el plano INSP-CRO-IT-10-IM-A3-002.02, a fin de facilitar los trabajos de soldadura en la parte inferior de la tubería.

Todas las juntas soldadas en campo serán sometidas a un proceso de inspección riguroso, que incluirá pruebas de tintes penetrantes y radiografías (rayos X) al 100%, con el fin de garantizar la calidad y la integridad de cada soldadura. Estas pruebas permiten detectar posibles defectos superficiales y estructurales que podrían comprometer la seguridad y el rendimiento del sistema. El proceso de inspección se llevará a cabo bajo los más altos estándares de calidad, asegurando que todas las juntas sean evaluadas exhaustivamente.

La normativa específica para la inspección de soldaduras será determinada por el encargado del proyecto, quien definirá los criterios técnicos y las metodologías a seguir, de acuerdo con las normativas internacionales y los requisitos del cliente. Esta normativa incluirá detalles sobre la clasificación de las soldaduras, los métodos de prueba aplicables, y los procedimientos para la interpretación de los resultados de las pruebas. El encargado del proyecto se encargará de supervisar que todo el proceso cumpla con los

requisitos establecidos, asegurando que las soldaduras sean aptas para soportar las condiciones operativas del sistema.

### **C.5 Condiciones de Ejecución**

Las actividades de desmontaje y montaje se llevarán a cabo "en frío", ya que el cabezal de 34" actualmente se encuentra fuera de servicio, lo que permite realizar los trabajos sin la presencia de flujo de producto ni exposición a temperaturas elevadas. Esto garantiza un entorno de trabajo más seguro para el personal, minimizando riesgos asociados a la presión y temperatura del sistema. Además, esta condición facilita la manipulación de los componentes, asegurando un desmontaje eficiente y una correcta instalación de los elementos necesarios para la mejora del sistema.

## **ANEXO D. LISTA DE MATERIALES PARA LA INCORPORACION DEL LAZO DE EXPANSION EN LAS LINEAS DE SUCCION Y DESCARGA.**

**Descripción de materiales:**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.
1	Tubería Ø 34" SCH STD API 5L-B PSL 1 extremo biselado, con costura SAW.	M	8,3
2	Tubería Ø 30" SCH STD API 5L-B PSL 1 extremo biselado, con costura SAW.	M	2
3	Codo Ø 34" SCH STD, 90° RL, extremos soldados, ASME B16.9, ASTM A 234 GR. WPB-W, con costura 100 % radiografía.	PZA	6
4	Codo 90° RL, SCH STD Ø 30", extremos soldados, ASME B16.9, ASTM A 234 GR. WPB-W, con costura 100 % radiografía	PZA	1
5	Tee Reductora Ø 34"X30" SCH STD, extremos soldados, ASME B16.9, ASTM A 234 GR. WPB-W, con costura 100 % radiografía	PZA	1
6	Brida Ø 34" clase 150 RF, A105, acabado 125-200 AARRH, WN cuello soldado, fabricación ASME B 16.47 serie B	PZA	2

7	Empaquetadura Ø 34" clase 150 devanada en espiral 316 SS y relleno de grafito flexible con anillo de centrado de acero al carbono, fabricación ASME B 16.20.	PZA	2
8	Esparrago 11/2"X275 ASTM A193-B7 con dos tuercas hexagonales pesadas ASTM A194-2H, rosca UNC	PZA	64
9	Brida Ø 30" clase 150 RF, A105, acabado 125-200 AARRH, WN cuello soldado, fabricación ASME B 16.47 serie B	PZA	1
10	Empacadura Ø 30" clase 150 devanada en espiral 316 SS y relleno de grafito flexible con anillo de centrado de acero al carbono, fabricación ASME B 16.20.	PZA	1

**ANEXO E. COMPUTOS METRICOS PROPUESTOS PARA LA  
INCORPORACION DEL LAZO DE EXPANSION EN LAS LINEAS DE  
SUCCION Y DESCARGA DE RESIDUAL.**

**Cóputos métricos para la alternativa de mejora.**

ITEMS	CÓMPUTOS MÉTRICOS	UND	CANT.
<b>M-1</b>	<b>DESMANTELAMIENTO Y TRANSPORTE DE TUBERÍAS DE ACERO AL CARBONO</b>		
M-1.1	Desmantelamiento y transporte de tubería de Ø 34" de acero al carbono	M	6
<b>M-2</b>	<b>DESMANTELAMIENTO Y TRANSPORTE DE JUNTAS DE EXPANSIÓN</b>		
M-2.1	Desmantelamiento y transporte de junta de expansión JEI 18 (Ø 34" bridada)	PZA	1
<b>M-3</b>	<b>TRANSPORTE, FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS DE TUBERÍAS</b>		
M-3.1	Tubería Acero al Carbono, Ø 34", SCH STD API 5L-B PSL 1 extremo biselado, con costura SAW.	M	21.7
<b>M-4</b>	<b>PREPARACIÓN DE SUPERFICIE Y APLICACIÓN DE PINTURA EN TUBERIAS</b>		
M-4.1	Tubería de Ø 34" (Sistema de Pintura N° 9)	M	21.7
<b>M-5</b>	<b>INSTALACIÓN DE PUNTOS DE EMPALMES DE TUBERÍAS (TIE-IN)</b>		
M-5.1	Empalme 001 (ø 30", Conexión: bridada)	UND	1
M-5.2	Empalme 002 (ø 34", Conexión: bridada)	UND	1
M-5.3	Empalme 003 (ø 34", Conexión: bridada)	UND	1
M-5.4	Empalme 004 (ø 34", Conexión: codo soldado)	UND	1
M-5.5	Empalme 005 (ø 34", Conexión: codo soldado)	UND	1
<b>M-6</b>	<b>REALIZACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN TUBERIAS</b>		
<b>M-6.1</b>	<b>Tintes penetrantes.</b>		
M-6.1.1	Tubería Ø 30"	JTA	1
M-6.1.2	Tubería Ø 34"	JTA	15

ITEM	CÓMPUTOS MÉTRICOS	UND	CANT.
<b>M-6.2</b>	<b>Radiografías.</b>		
M-6.2.1	Tubería Ø 30"	JTA	1
M-6.2.2	Tubería Ø 34"	JTA	15
<b>M-7</b>	<b>PRUEBA HIDROSTÁTICA, DRENAJE Y LIMPIEZA DE TUBERÍAS</b>		
M-7.1	Prueba hidrostática, drenaje y limpieza de tubería ø 34"	SG	1
<b>C-1</b>	<b>S/T/I SOPORTES METALICOS</b>		
C-1-1	Excavación a mano para construcción de fundación de soportes tipo cristo. Incluye carga y bote	M3	1,50
C-1.2	Suministro, fabricación, transporte y colocación de relleno con material de préstamo. Incluye Compactación	M3	0,35
C-1.3	Suministro, fabricación, transporte e instalación de plancha base A36, de 400mm x 400mm x 10mm para fijación de soportes tipo cristo. Incluye 4 pernos A-325 Ø5/8" x 30cm y la preparación de superficie y pintura.	UND	3
C-1.4	Suministro, Transporte, Fabricación y Colocación de acero de refuerzo Ø 1/2" Fy 4200 Kg/cm2 para construcción de pedestal y fundación.	KG	82
C-1.5	Suministro, Transporte, Fabricación y Colocación de acero de refuerzo Ø 3/8" para construcción de pedestal	KG	12,80

ITEM	CÓMPUTOS MÉTRICOS	UND	CANT.
C-1.7	Suministro, Transporte y Colocación de concreto F'c= 250Kg/cm2 para la construcción de pedestal y fundación de soportes tipo cristo.	M3	1,15
C-1.8	Suministro, Transporte y Colocación de encofrado tipo recto, acabado corriente para la construcción de pedestal	M2	2,30
C-1.6	Suministro, Transporte e Instalación de Tubo Estructural ASTM A-500 Gr C Soportes Metálicos tipo Cristo en acero estructural ASTM A-500 Grado C, Ø 8"-5/8" para construcción de soportes tipo cristo. Incluye la preparación de la superficie y pintura. Dimensiones y características de acuerdo a lo indicado en los Planos de mejora.	PZA	3

## METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

<b>TÍTULO</b>	“PROPUESTA DE SUSTITUCIÓN DE JUNTAS DE EXPANSIÓN POR LAZOS DE EXPANSIÓN EN LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE RESIDUAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO 250X4, 250X5 Y 250X6 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”
<b>SUBTÍTULO</b>	

### AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
Gámez S., Paola A.	<b>CVLAC: 25.060.384</b> <b>EMAIL: pao3lag@hotmail.com</b>

### PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Lazos de expansión
juntas de expansión
CAESAR II
norma ASME B 31.3
propuesta
esfuerzo
permisible

## METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

AREA	SUBÁREA
Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Mecánica

### RESUMEN (ABSTRACT):

El presente trabajo de grado propone mejoras para las líneas de succión y descarga de residuos de los tanques de almacenamiento atmosférico 250X4, 250X5 y 250X6 de la Refinería Puerto la Cruz. Utilizando el software de flexibilidad en tuberías CAESAR II, se modelaron las líneas y se recopiló información sobre diámetros, espesores, longitudes y materiales de las tuberías y accesorios, así como la ubicación y tipos de soportes, a partir de mediciones y levantamientos en campo, junto con las condiciones de operación y diseño establecidas. Se analizaron los esfuerzos en el sistema, considerando las cargas sostenidas, expansiones térmicas y cargas operacionales. Se identificaron discrepancias entre los isométricos suministrados por la empresa y las características actuales de las líneas estudiadas, ya que no contaban con las juntas de expansión del modelo original. Posteriormente, se realizó un análisis estático de flexibilidad, donde se incorporaron los lazos de expansión, demostrando que cumplen con las cargas permisibles y los límites de esfuerzos establecidos en las normativas pertinentes. Se incorporaron nuevos soportes, asegurando que los esfuerzos de las tuberías fueran permisibles según la norma ASME B31.3. Se concluye que la propuesta cumple con los criterios requeridos y es una alternativa viable para reactivar las líneas de succión y descarga. Para finalizar, se actualizaron los planos isométricos con la incorporación de las mejoras.

**METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO**

**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU-X	JU
Gomes, Carlos	CVLAC:	10.305.208			
	E_EMAIL	carlos.j.gomes@gmail.com			
	E_EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU-X	JU
Gámez, Duvai	CVLAC:	5.566.581			
	E_EMAIL	gamezd@pdvsa.com			
	E_EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU-X	JU
García, Francisco	CVLAC:	5.188.071			
	E_EMAIL	garciacova@gmail.com			
	E_EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU-X	JU
Bonilla, Argenis	CVLAC:	25.436.252			
	E_EMAIL	aj.bonilla.13@gmail.com			
	E_EMAIL				
	ROL	CA	AS	TU-X	JU

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

2025 <b>AÑO</b>	03 <b>MES</b>	07 <b>DÍA</b>
--------------------	------------------	------------------

**LENGUAJE: SPA**

## METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

NOMBRE DEL ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.PROPUUESTA DE SUSTITUCIÓN DE JUNTAS DE EXPANSIÓN POR LAZOS DE EXPANSIÓN EN LAS LÍNEAS DE SUCCIÓN Y DESCARGA DE RESIDUAL DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO ATMOSFÉRICO 250X4, 250X5 Y 250X6 DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ.DOC	Application/msword

### CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:

#### ALCANCE:

**ESPACIAL:** PDVSA REFINACION ORIENTE

(OPCIONAL)

**TEMPORAL:** 06 MESES

(OPCIONAL)

#### TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero mecánico

#### NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

#### ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de ingeniería mecánica

#### INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente /Núcleo de Anzoátegui.

# METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumana, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *[Firma]*

FECHA 5/8/09 HORA 5:20

Le informo a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*[Firma]*  
JUAN A. BOLANOS CUMBELO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/marujá

Apartado Correos 094 / Tel: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumana - Venezuela

## **METADATOS PARA TRABAJO DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **Derechos**

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado (Vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009)

“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien lo participara al Consejo Universitario, para su autorización”

---

Paola Andrea Gámez Sánchez

---

Prof. Carlos Gomes

**TUTOR**

---

Prof. Argenis Bonilla

**JURADO**

---

Prof. Francisco García

**JURADO**

---

Prof. Carlos Gomes

**POR LA COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO**