

Análisis de esfuerzos en cabezal de inyección de vapor - TECA

Release 0.2

Hernando Gasca

2019 December 17

1	Objetivo y alcance	2
1.1	Objetivo	2
1.2	Alcance	2
2	Resumen	3
3	Unidades	4
4	Información de entrada	5
4.1	Planos:	5
4.2	Condiciones de operación:	5
4.3	Catalogos:	5
4.4	Materiales:	6
4.5	Dimensiones:	6
5	Procedimiento	7
5.1	Modelamiento Geométrico CAEPIPE	7
5.2	Aplicación de cargas de trabajo	10
5.3	Modelo de esfuerzos en tubería Caepipe	11
5.4	Funcionamiento normal	13
5.5	Rotula derecha bloqueada	15
5.6	Rotulas central y derecha bloqueadas	17
5.7	Tres rotulas bloqueadas	19
5.8	Esfuerzos con bloqueo en la salida del cabezal del pozo	20
5.9	Aislamiento de cargas sobre la zona de la rotura	21
5.10	Modelo de elementos finitos	22
5.11	Análisis de tipos de carga	34
6	Límites del análisis	36
7	Software	37
8	Geometría	38
9	Malla de elementos finitos	39

Table 1: Tabla de versiones

Release	Descripción	Fecha	Elaboró	Aprobó
0.1	Revisión interna	03/12/19	HG	

CHAPTER 1

OBJETIVO Y ALCANCE

1.1 Objetivo

Calcular esfuerzos generados por la tubería de inyección en el CASING de 8 5/8" del pozo inyector de vapor del campo Teca que presentó falla durante su operación. Analizar si estos pudieron inducir la rotura presentada.

Simular condiciones de daño de las rótulas (bloqueo) de la tubería de alimentación de 3" para verificar si este efecto pudiera causar ese tipo de rotura.

1.2 Alcance

Se realizó el cálculo de cargas y esfuerzos resultantes en las tuberías, desde la salida del tramo enterrado hasta el tubo que presentó la falla, para 2 casos:

- Uno en el que se supone el funcionamiento adecuado de las rótulas en la tubería.
- Uno en el que se simulan las rótulas trabadas.

Con base en esta información se realizará un análisis mas detallado de elementos finitos del CASING que presentó la falla para predecir los esfuerzos en esa zona y si estos están por encima de los admisibles de la tubería.

- Se realizó análisis de esfuerzos en el rango lineal.
- Se realizó análisis de esfuerzos de contacto.

Se presentó falla súbita por rotura en la sección del Casing de producción de uno de los pozos de inyección de vapor. La falla presentada ocurrió como un corte anular de manera perpendicular a la longitud del tubo.

Se revisó el funcionamiento de la tubería de 3" SCH 40 en conjunto con el Casing de producción teniendo en cuenta los casos siguientes:

MODELOS CAEPIPE

1. Rotulas de la tubería de 3" en funcionamiento normal: Los esfuerzos en todo el conjunto se mantienen por debajo de los valores admisibles según ANSI-B31.3. Se recomienda continuar usando las rótulas para mantener la integridad de la tubería de superficie.
2. Con cualquiera de las rótulas bloqueadas los esfuerzos en la tubería de superficie (3" SCH80) superan los valores admisibles pero en ningún caso el casing presenta esfuerzos mayores a los permitidos. Esto implica que antes de que pudieran existir cargas que dañaran el CASING se deformaría y/o romperá la tubería de superficie (3" SCH80).
3. Un daño en las rótulas produciría doblez y/o rotura de la tubería de 3" por lo que aliviaría los esfuerzos de estas cargas sobre el CASING.

MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

3. Los esfuerzos de contacto entre el CASING y las piezas del anillo de 13 5/8" incrementan los esfuerzos calculados mediante análisis de flexibilidad en los casos estudiados.
3. La probabilidad de que las cargas producidas por la tubería de 3" SCH-80 generen el tipo de rotura que se presentó en el CASING es menor que la de que se deba a un evento de sobrepresión en el interior del mismo. La presión interna reproduce correctamente el patrón de esfuerzos esperado en la rotura del CASING y el lugar de ocurrencia.
3. Se recomienda modelar el sistema utilizando los datos reales de tolerancia entre el CASING y el anillo. Esto debido a que los esfuerzos de contacto inducidos tienen una fuerte correlación con esta tolerancia.
4. Realizar análisis de los elementos involucrados en la falla para verificar la zona de ocurrencia, posibles marcas sobre el anillo, geometría de las marcas que dejó la falla sobre la sección rota del CASING y otros que puedan compararse con el estudio aquí realizado.

CHAPTER 3

UNIDADES

Las unidades utilizadas en este informe son las siguientes:

Table 3.1: Unidades

Longitud:	mm
Masa:	$N \frac{s^2}{mm}$
Fuerza:	N
Tiempo:	s
Presión:	$Mpa \text{ ó } (\frac{N}{mm^2})$
Módulo elasticidad	Mpa
Diámetro tubería	in

CHAPTER 4

INFORMACIÓN DE ENTRADA

4.1 Planos:

- RIG TIME SAVING WELLHEAD FOR HIGH TEMPERATURE RTSW-HT: PRODUCER WELL TECA It: 13 5/8" 3K x 9" 3K x 3 1/8" 3K x 11 3/4" BC x 8 5/8" BC x 3 1/2" EU.
- DETALLA CONEXIÓN A CABEZAL DE POZO PRODUCTOR. LOC: TECA, No. 40-095-08, REV.0.
- ISOMÉTRICO DE TUBERÍA DE PRODUCCIÓN CONEXIÓN A CABEZAL DE POZO PRODUCTOR. LOC: TECA, No:40-095-06, REV.0.
- DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN TÍPICO DE PLATAFORMA MULTI-POZO. Loc: TECA, 10-000-03 REV.2.

4.2 Condiciones de operación:

- Presión 1000psig.
- Temperatura: 546 F.
- Flujo 1.220 BSPD.

4.3 Catalogos:

- BlueSky Process Solutions Flexball and Rotaball.

4.4 Materiales:

Table 4.1: Propiedades de los materiales

Parte	Material	Esfuerzo máximo de fluencia <i>psi</i>	Esfuerzo máximo permitido 100 <i>F psi</i>	Esfuerzo máximo de fluencia 400 <i>F</i>
Tubería 3"	Pipe SCH 80, API 5L, GR.X42	42.000	20.000	20.000
Tubing 3 1/2"	Tubing EU#9.3 L80	80.000	30.000 ²	30.000 ²
Production Casing 8 5/8"	Casing #32 K80 BC	80.000	31.700 ²	31.700 ²

4.5 Dimensiones:

Table 4.2: Dimensiones

Parte	Material	Diametro externo <i>in</i>	Espesor de pared <i>in</i>
Tubería 3"	Pipe SCH 80, API 5L, GR.X42	3.5	0.3
Tubing 3 1/2"	Tubing EU#9.3 N80/L80	3.5	0.254
Production Casing 8 5/8"	Casing #32 K55 BC	8 5/8	0.352

² La reducción de resistencia por temperatura se tomó de materiales similares ASME B31.3

CHAPTER 5

PROCEDIMIENTO

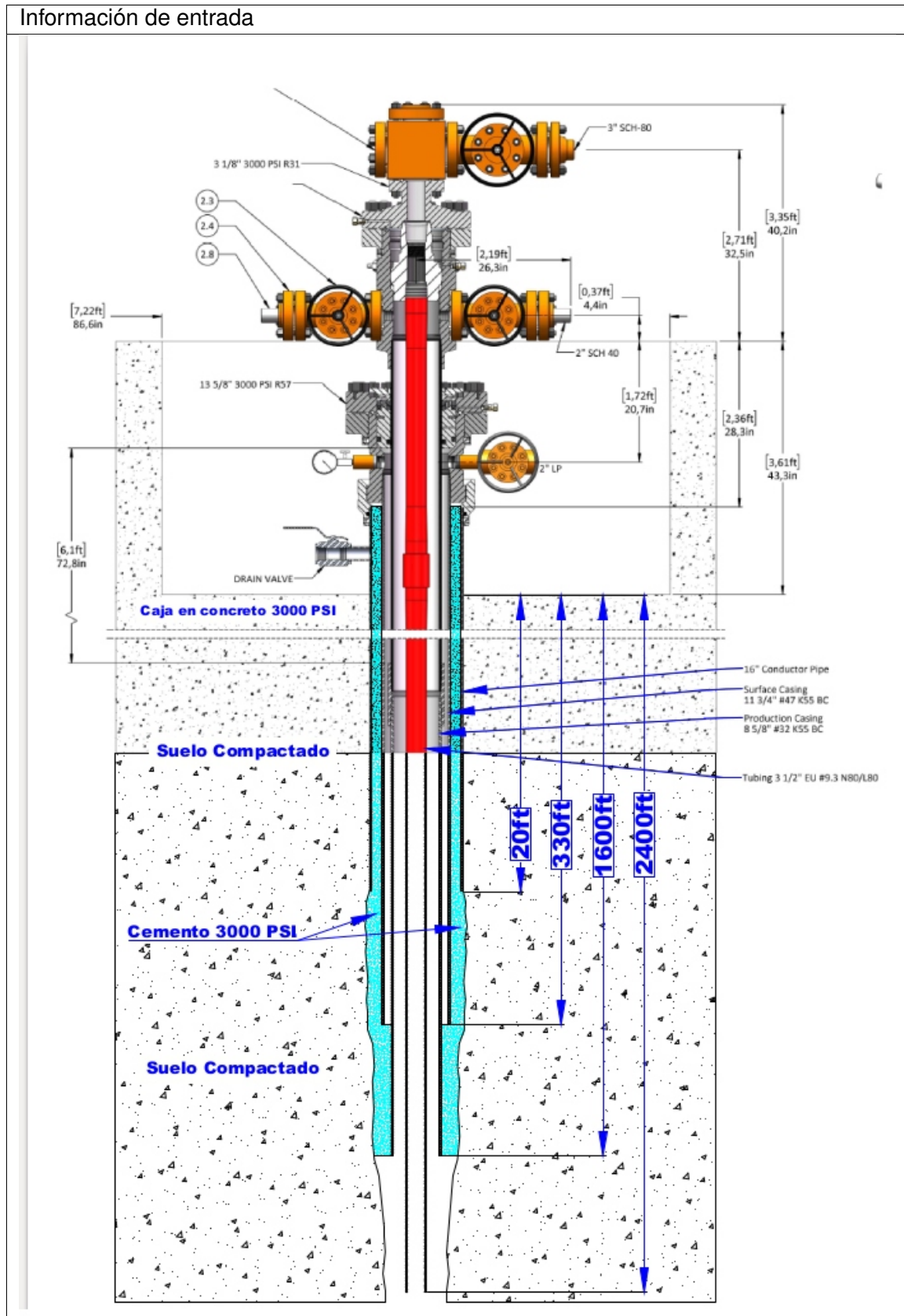
Se siguieron los pasos enunciados a continuación para el modelamiento de los esfuerzos sobre la zona de interés.

- Modelamiento geométrico CAEPIPE.
- Aplicación de cargas de trabajo.
- **Modelo de esfuerzos en tubería Caepipe.**
 - a. Modelo de movimiento libre.
 - b. Modelo con rótulas Flexball y Rotaball trabadas.
- Aislamiento de cargas sobre la zona de la rotura.
- Modelo de elementos finitos.
- Análisis de tipos de carga.
- Cálculos de verificación.

5.1 Modelamiento Geométrico CAEPIPE

Con base en los planos suministrados por el cliente se construyó en modelo en CAEPIPE.

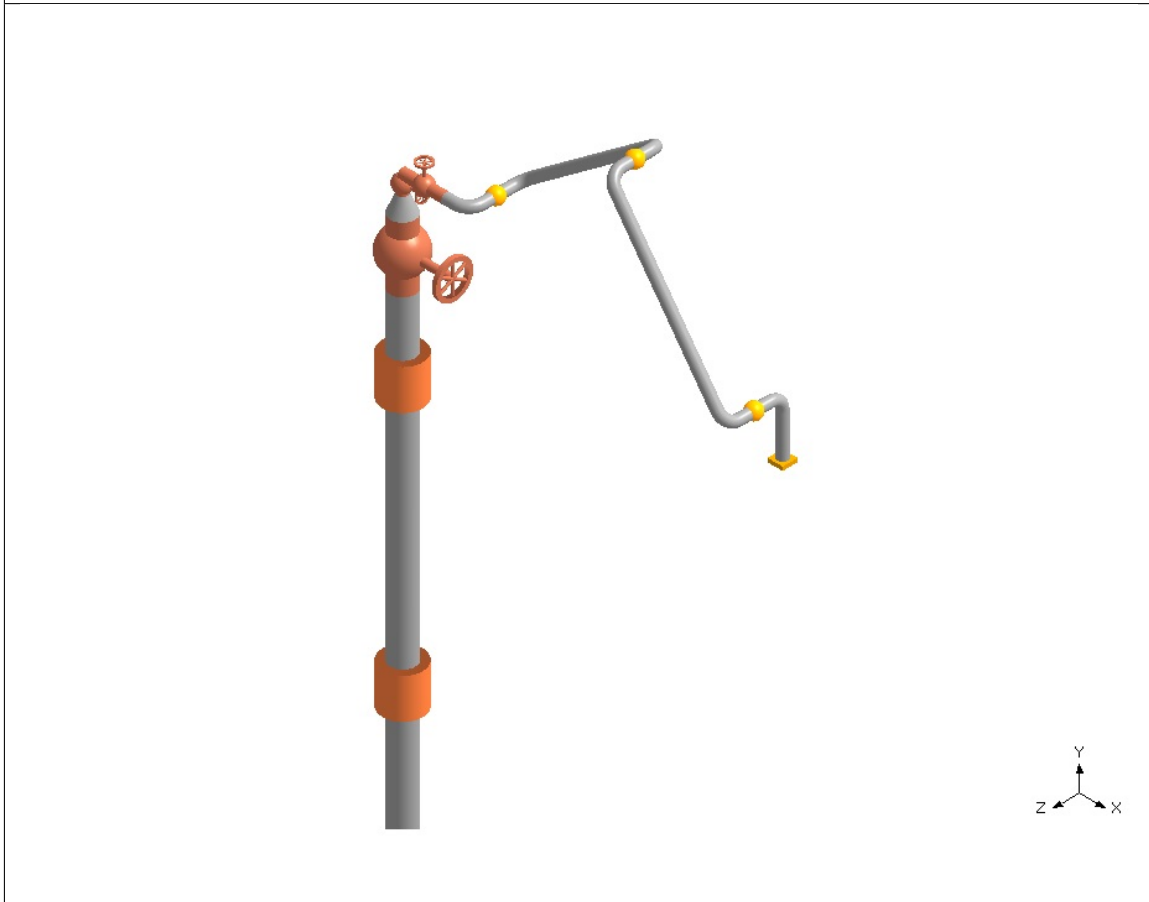
Table 5.1: Cabezal de inyección.



La geometría construida se limita desde el anclaje en la salida de la línea de 3" SCH80 hasta el anclaje cementado del casing de producción 8 5/8".



Table 5.2: Geometría en CAEPIPE

Incluye CASING anclado a 330ft de profundidad



Las Juntas de tipo rótula fueron incluidas en el modelo según los siguientes parámetros.

Table 5.3: Parámetros Flexball y Rotaball

Datos del fabricante acerca de los momentos de accionamiento de las rótulas																									
<div> <div>   </div> <p>BLUESKY FLEXBALL AND ROTABALL TORQUE VALUES</p> <p>The BlueSky FlexBall and RotaBall are used to dramatically reduce pipe stresses in piping systems that develop high bending loads due to thermal and/or mechanical movement. With a full 360° rotational freedom and up to 30° total flex capability, these products provide the piping Engineer with a tool to combat any such design challenges. Please consult with BlueSky's team of Engineers for any additional information.</p> <p>The tables below list the expected torques of the standard BlueSky FlexBall and RotaBall sizes for all pressure classes. Note that only the rotational torque applies to the RotaBall. Torques have been measured in a shop environment and assume a slow rotational movement caused by the effects of thermal expansion of the piping system. Joint torques are subject to service conditions of the installation and may vary slightly from those in the tables.</p> <p>Flex Torque – Normal to the pipe axis (ft-lbf)</p> <table> <tr><th>Pressure</th><th>NPS</th></tr> <tr><td>(psi)</td><td>3"</td></tr> <tr><td>0</td><td>505</td></tr> <tr><td>1000</td><td>1461</td></tr> <tr><td>2000</td><td>2315</td></tr> <tr><td>3000</td><td>3016</td></tr> </table> <p>Rotation Torque – About the pipe axis (ft-lbf)</p> <table> <tr><th>Pressure</th><th>NPS</th></tr> <tr><td>(psi)</td><td>3"</td></tr> <tr><td>0</td><td>749</td></tr> <tr><td>1000</td><td>1607</td></tr> <tr><td>2000</td><td>2465</td></tr> <tr><td>3000</td><td>3323</td></tr> </table> <p>The BlueSky FlexBall and RotaBall torques are based upon theoretical calculations substantiated by test data to provide the lowest torques in the industry. Our unique tightly controlled packing compression coupled with hard chrome plated balls and high-precision CNC manufactured components ensure that the torques are consistent throughout our product offerings. Furthermore, the thermal gap designed into every FlexBall and RotaBall ensures that these low torques are maintained even at elevated temperatures.</p> <p>This information is provided for the sole purpose of assisting piping Engineers and designers to design systems that incorporate BlueSky FlexBalls and RotaBalls. This information is the property of Freudenberg Oil & Gas Canada and shall not be copied or distributed without prior consent.</p> </div>		Pressure	NPS	(psi)	3"	0	505	1000	1461	2000	2315	3000	3016	Pressure	NPS	(psi)	3"	0	749	1000	1607	2000	2465	3000	3323
Pressure	NPS																								
(psi)	3"																								
0	505																								
1000	1461																								
2000	2315																								
3000	3016																								
Pressure	NPS																								
(psi)	3"																								
0	749																								
1000	1607																								
2000	2465																								
3000	3323																								

5.2 Aplicación de cargas de trabajo

Se aplican cargas debidas sobre el terreno debidas a:

- Peso de la tubería, accesorios y aislamientos.
- Peso del fluido.
- Presión de trabajo 1000 *psi* y de diseño 1450 *psi*.
- Temperatura de trabajo 546 *F* y de diseño 546 *F*.
- Peso del tubing de 3 1/2" #9.3 18600 lbm

Table 5.4: Cargas aplicadas

El peso del tubing de 3 1/2" fué reemplazado por una fuerza equivalente en el CASING

#	Name	T1 (F)	P1 (psi)	T2 (F)	P2 (psi)	T3 (F)	P3 (psi)	T4 (F)	P4 (psi)	T5 (F)	P5 (psi)	T6 (F)	P6 (psi)	T7 (F)	P7 (psi)	T8 (F)	P8 (psi)	T9 (F)	P9 (psi)	T10 (F)	P10 (psi)	Desg.T (F)	Desg.Pr. (psi)	Specific gravity
1		546	200	546	1000	546	0	70	0	70	0	70	0	70	0	70	0	70	0	70	0	593	1450	0.035
2																								

El caso de carga de interés es el de operación. Sin embargo se estudiaron otros casos ya que pueden dar información sobre la falla ocurrida.

Table 5.5: Casos de carga estudiados

Load cases (14)

<input checked="" type="checkbox"/> Empty Weight (W)	<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T1 - T2)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T9)	<input type="checkbox"/> Expansion (T9 - T10)
<input checked="" type="checkbox"/> Sustained (W+P)	<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T1 - T3)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T10)	<input checked="" type="checkbox"/> Operating (W+P1+T1)
<input checked="" type="checkbox"/> Sustained (W+P1)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T4)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T5)	<input checked="" type="checkbox"/> Operating (W+P2+T2)
<input checked="" type="checkbox"/> Sustained (W+P2)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T5)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T6)	<input checked="" type="checkbox"/> Operating (W+P3+T3)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P3)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T6)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T7)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P4+T4)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P4)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T7)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T8)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P5+T5)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P5)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T8)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T9)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P6+T6)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P6)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T9)	<input type="checkbox"/> Expansion (T4 - T10)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P7+T7)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P7)	<input type="checkbox"/> Expansion (T1 - T10)	<input type="checkbox"/> Expansion (T5 - T6)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P8+T8)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P8)	<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T2 - T3)	<input type="checkbox"/> Expansion (T5 - T7)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P9+T9)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P9)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T4)	<input type="checkbox"/> Expansion (T5 - T8)	<input type="checkbox"/> Operating (W+P10+T10)
<input type="checkbox"/> Sustained (W+P10)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T5)	<input type="checkbox"/> Expansion (T5 - T9)	<input checked="" type="checkbox"/> Modal analysis
<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T1)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T6)	<input type="checkbox"/> Expansion (T5 - T10)	
<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T2)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T7)	<input type="checkbox"/> Expansion (T6 - T7)	
<input checked="" type="checkbox"/> Expansion (T3)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T8)	<input type="checkbox"/> Expansion (T6 - T8)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T4)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T9)	<input type="checkbox"/> Expansion (T6 - T9)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T5)	<input type="checkbox"/> Expansion (T2 - T10)	<input type="checkbox"/> Expansion (T6 - T10)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T6)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T4)	<input type="checkbox"/> Expansion (T7 - T8)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T7)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T5)	<input type="checkbox"/> Expansion (T7 - T9)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T8)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T6)	<input type="checkbox"/> Expansion (T7 - T10)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T9)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T7)	<input type="checkbox"/> Expansion (T8 - T9)	
<input type="checkbox"/> Expansion (T10)	<input type="checkbox"/> Expansion (T3 - T8)	<input type="checkbox"/> Expansion (T8 - T10)	

OK Cancel All None

5.3 Modelo de esfuerzos en tubería Caepipe

Se analizaron los esfuerzos ocurridos en la zona de rotura y en los tubos vecinos encontrando lo siguiente:

Table 5.6: Simulaciones CAEPIPE.

Caso	Esfuerzo Casing [psi]	Caso de carga	Observaciones
A	3.084	Rótulas en funcionamiento + Presión interna 1000psi + Temperatura interna 546 F	Todos los esfuerzos están por debajo de los admisibles El esfuerzo en el Casing esta en 4% del admisible.
B	1.921	Bloqueo rótula lejana pozo + Presión interna 1000psi + Temperatura interna 546 F	Los esfuerzos en la tubería de superficie superan el valor admisible por un factor de 2.09. El esfuerzo en el Casing está en el 3% del admisible.
C	5.306	Bloqueo rótulas lejana y Central + Presión interna 1000psi + Temperatura interna 546 F	Los esfuerzos en la tubería de superficie superan el valor admisible por un factor de 2.17. El esfuerzo en el Casing está en un 7% del admisible.
D	20.079	Bloqueo 3 rótulas + Presión interna 1000psi + Tempertura interna 546 F	Los esfuerzos en la tubería de alimentación superan el valor admisible por un factor de 4.31. El esfuerzo en el Casing está en un 385 del admisible.
E	97.666	Experimento de bloqueo por Expansión térmica entre CASING y anillo de 13-5/8"	Los esfuerzos en toda la longitud del Casing estarían 2.23 veces por encima de los admisibles. En este caso se esperaría un pandeo del Casing o la rotura del anillo exterior.

5.4 Funcionamiento normal

Table 5.7: Esfuerzos en funcionamiento normal

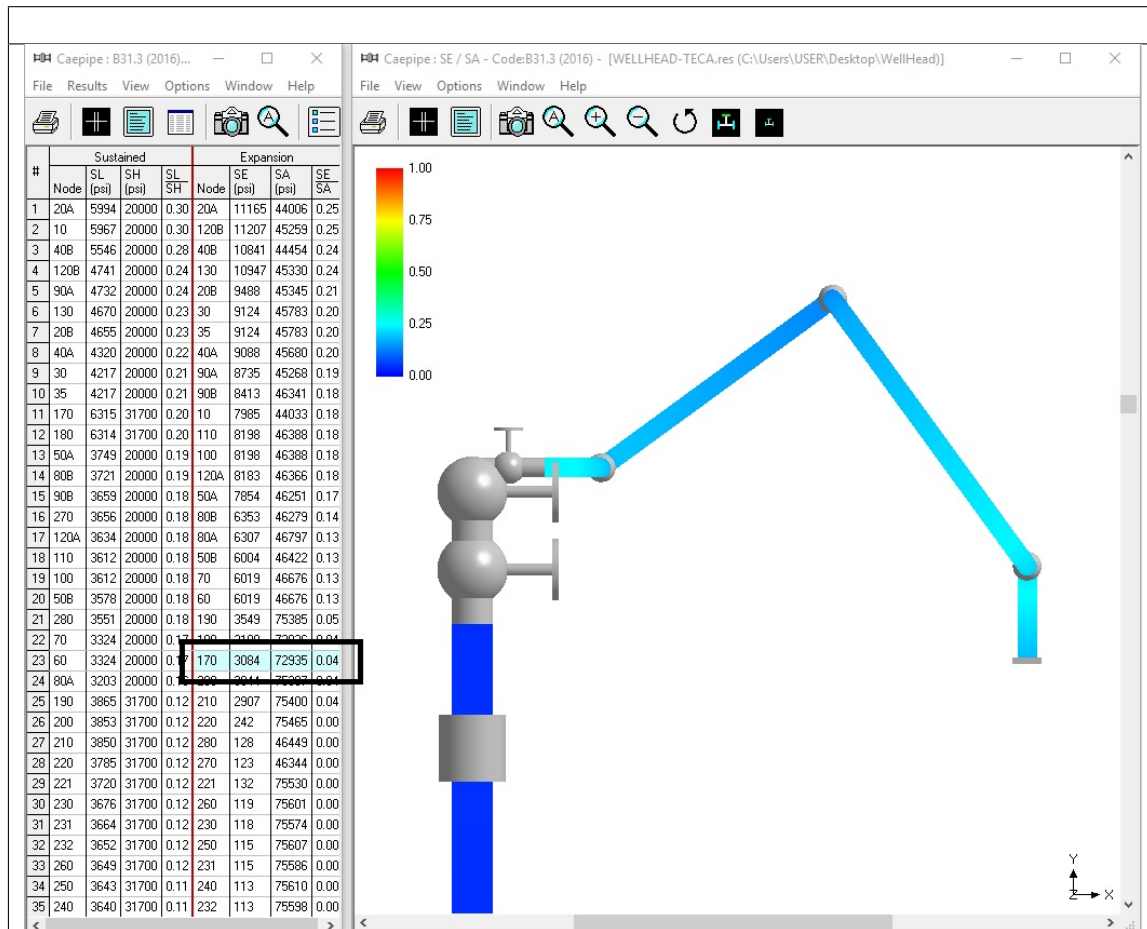
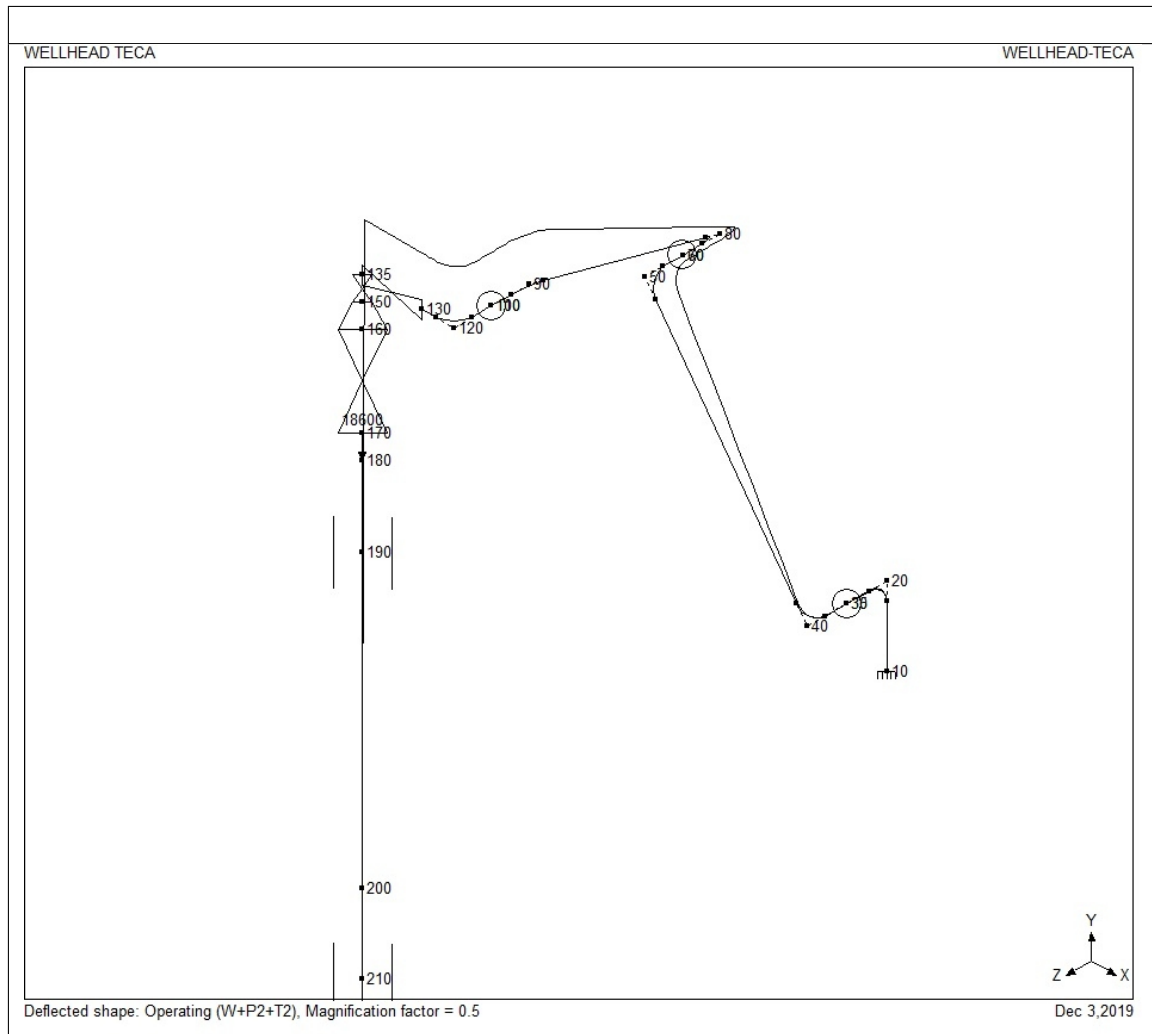


Table 5.8: Deformaciones en funcionamiento normal



5.5 Rotula derecha bloqueada

Table 5.9: Esfuerzos con rótula de la derecha bloqueada.

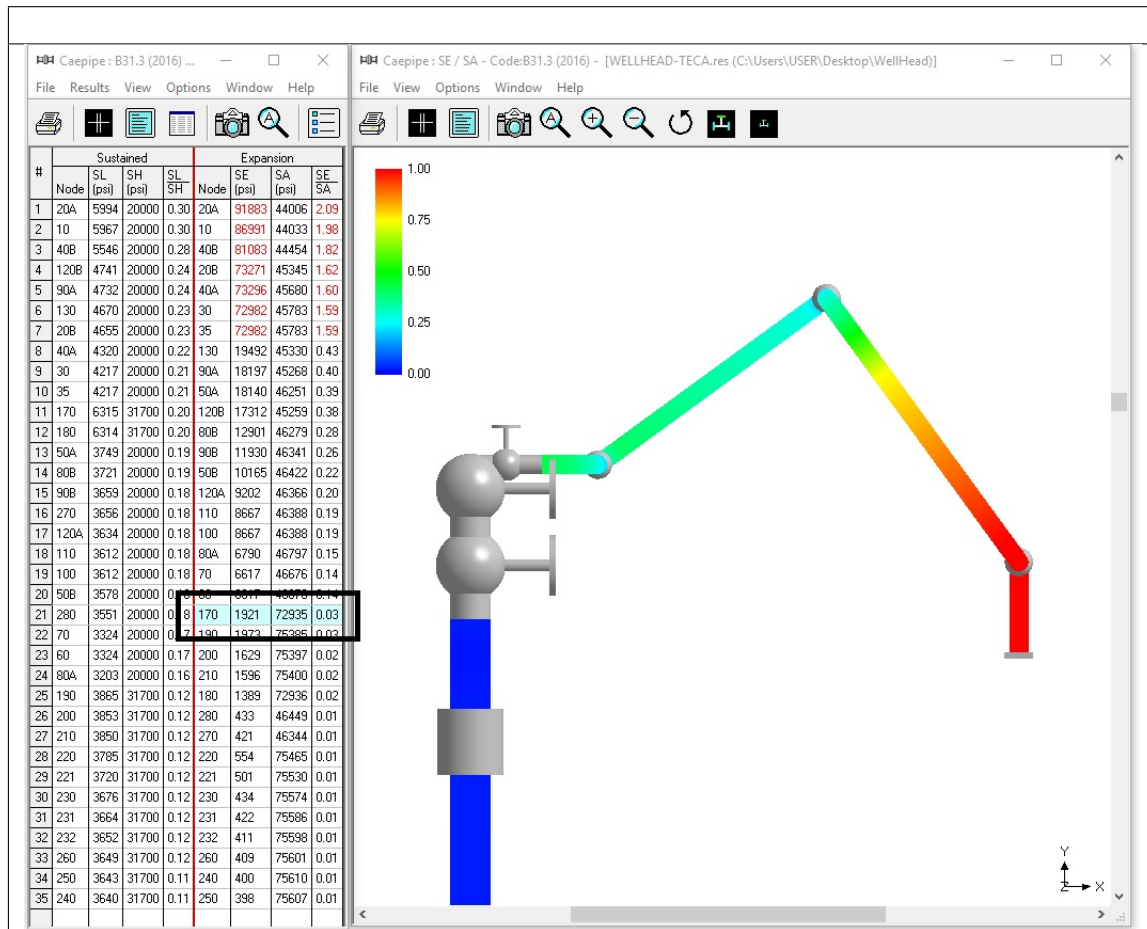
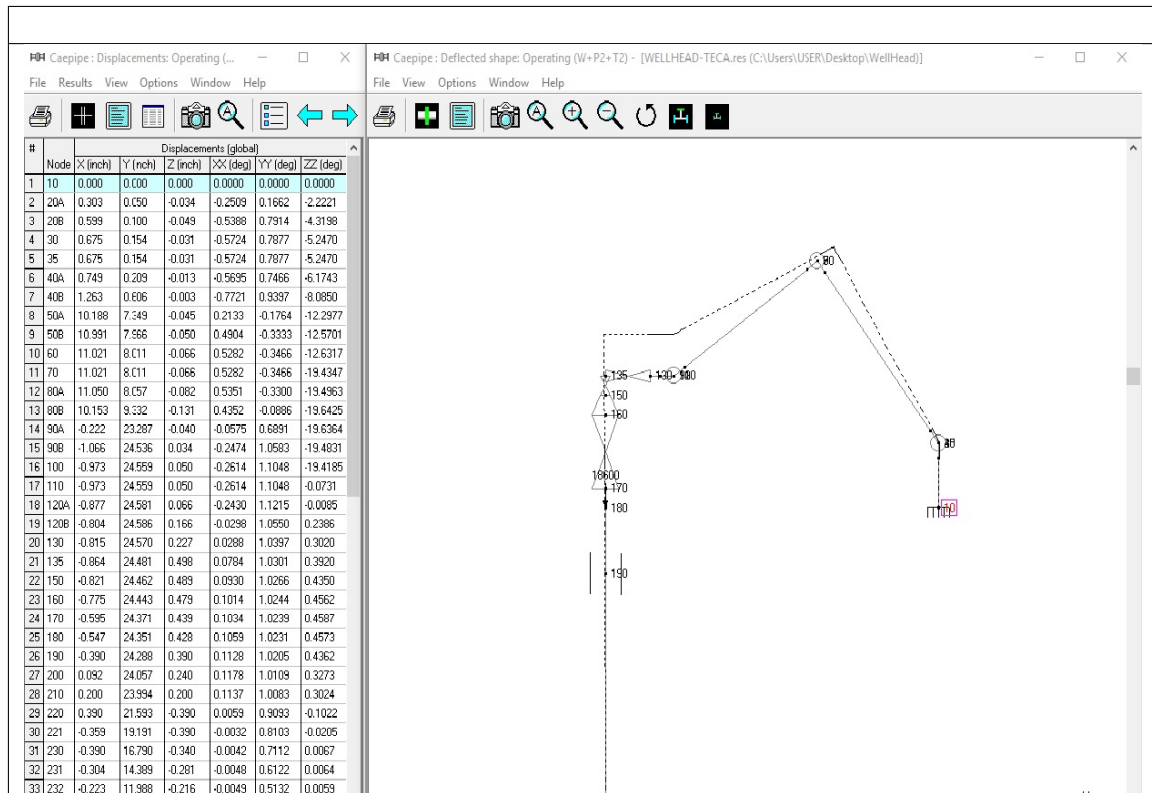


Table 5.10: Deformaciones con rótula de la derecha bloqueada.



5.6 Rotulas central y derecha bloqueadas

Table 5.11: Esfuerzos con rótulas central y derecha bloqueadas.

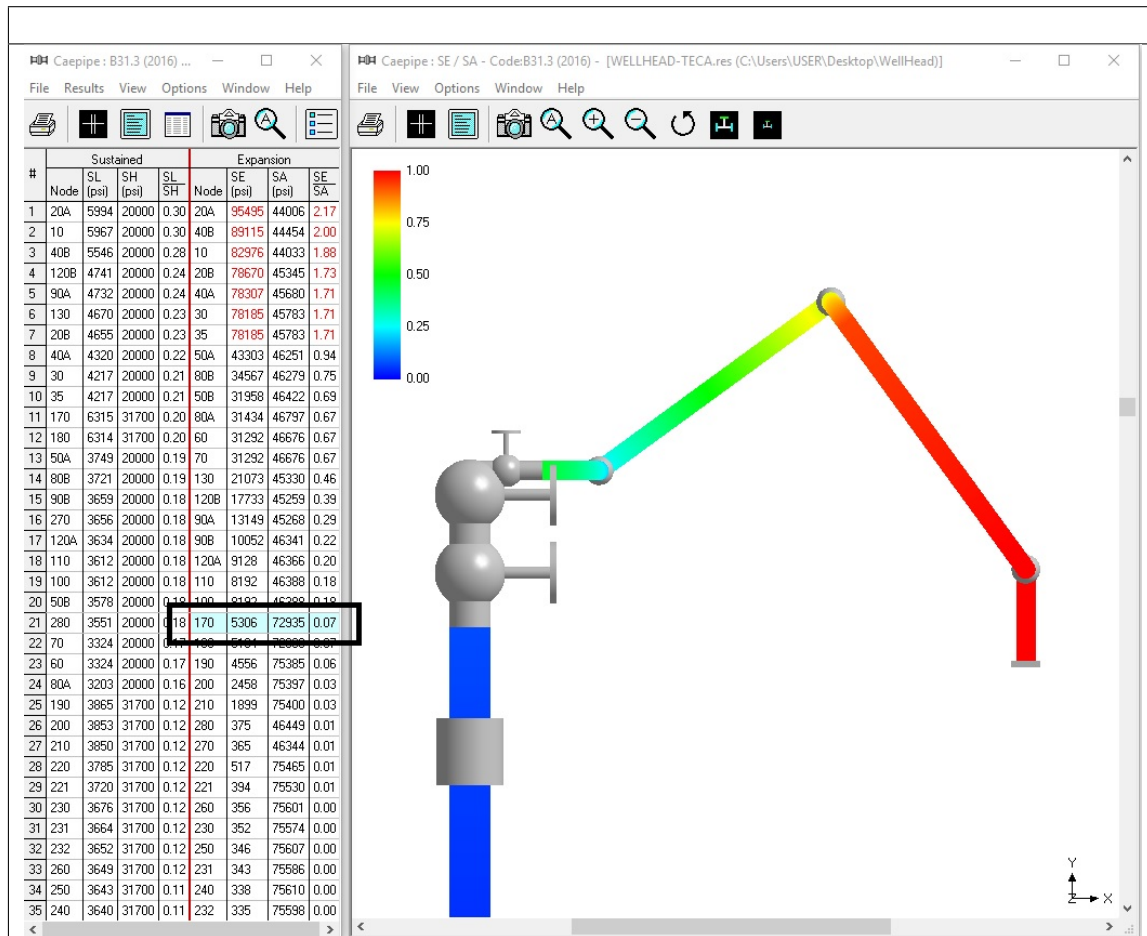
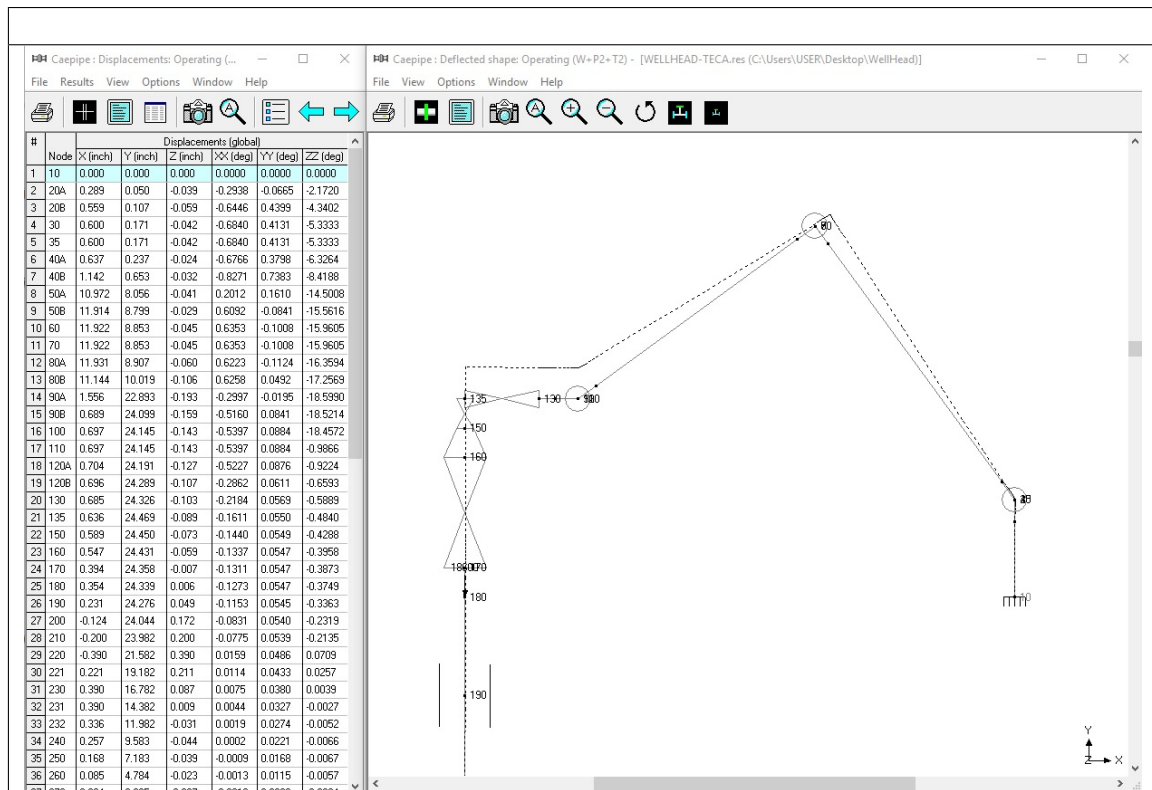


Table 5.12: Deformaciones con rótulas central y derecha bloqueadas.



5.7 Tres rotulas bloqueadas

Table 5.13: Esfuerzos con las 3 rótulas bloqueadas.

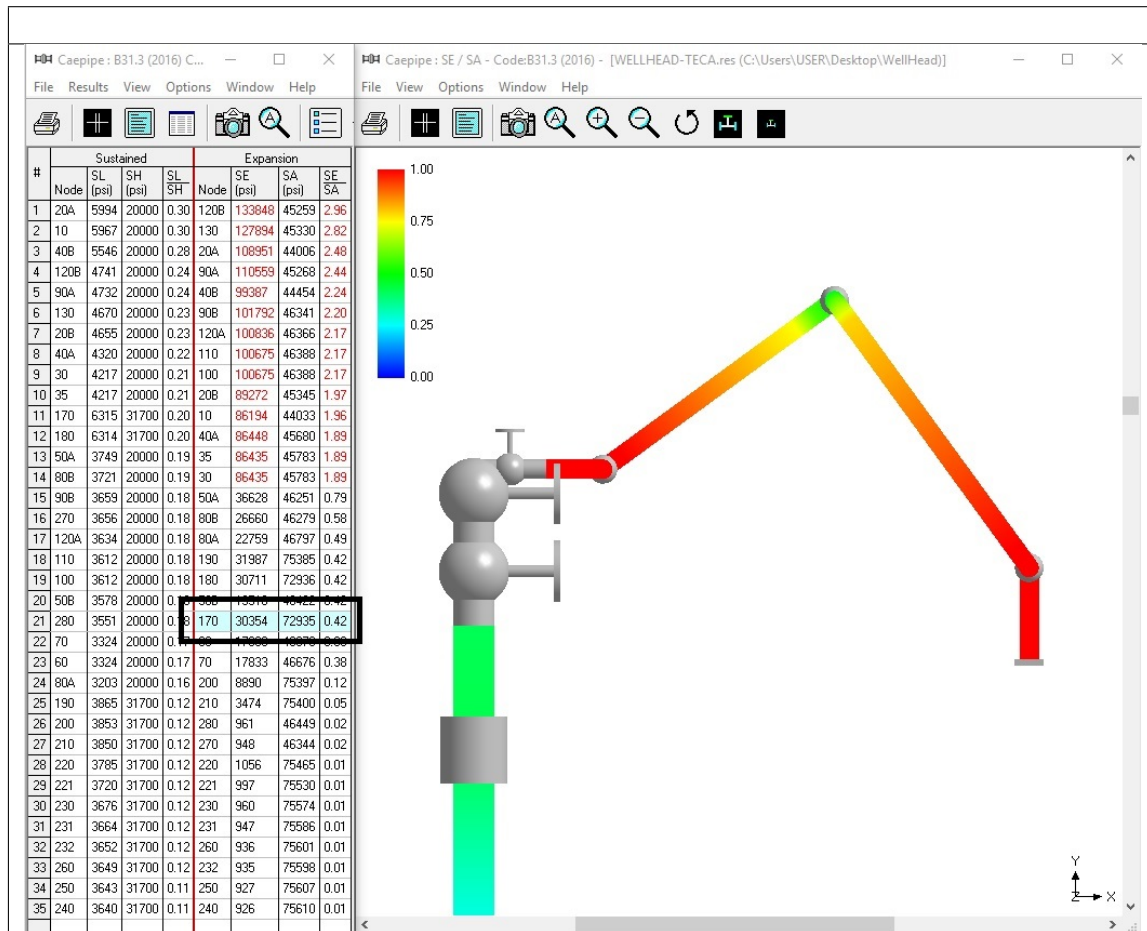
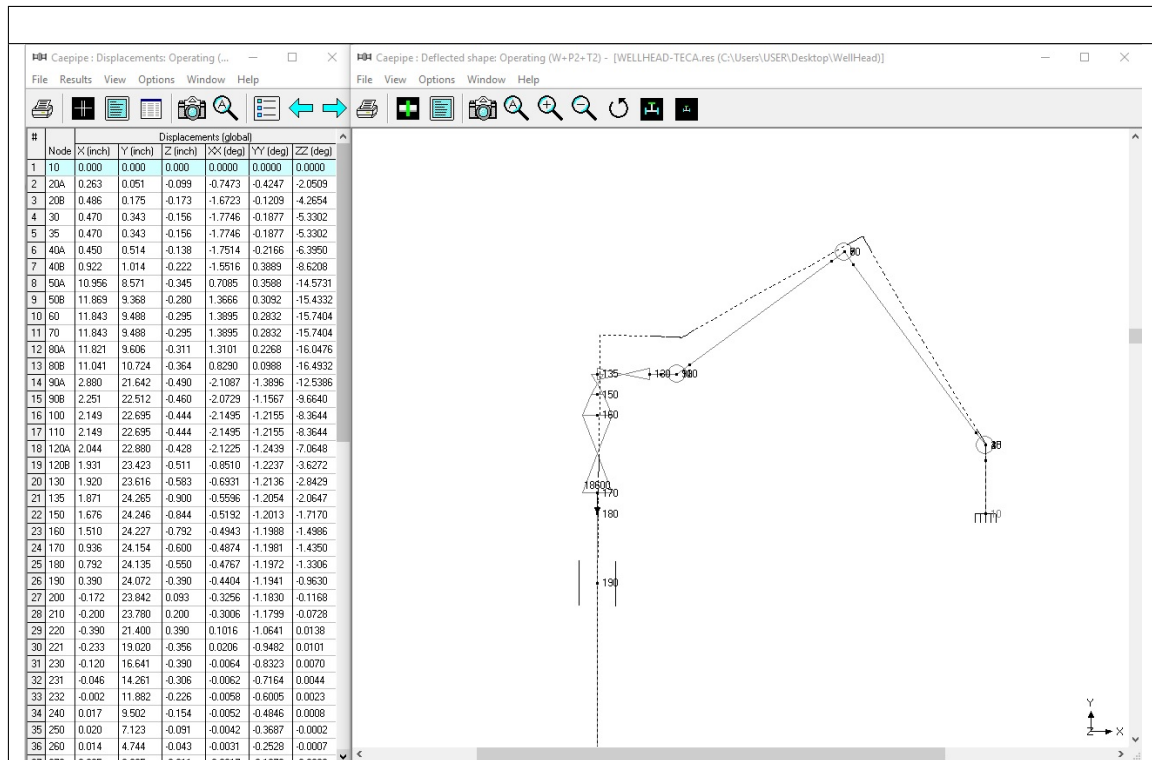
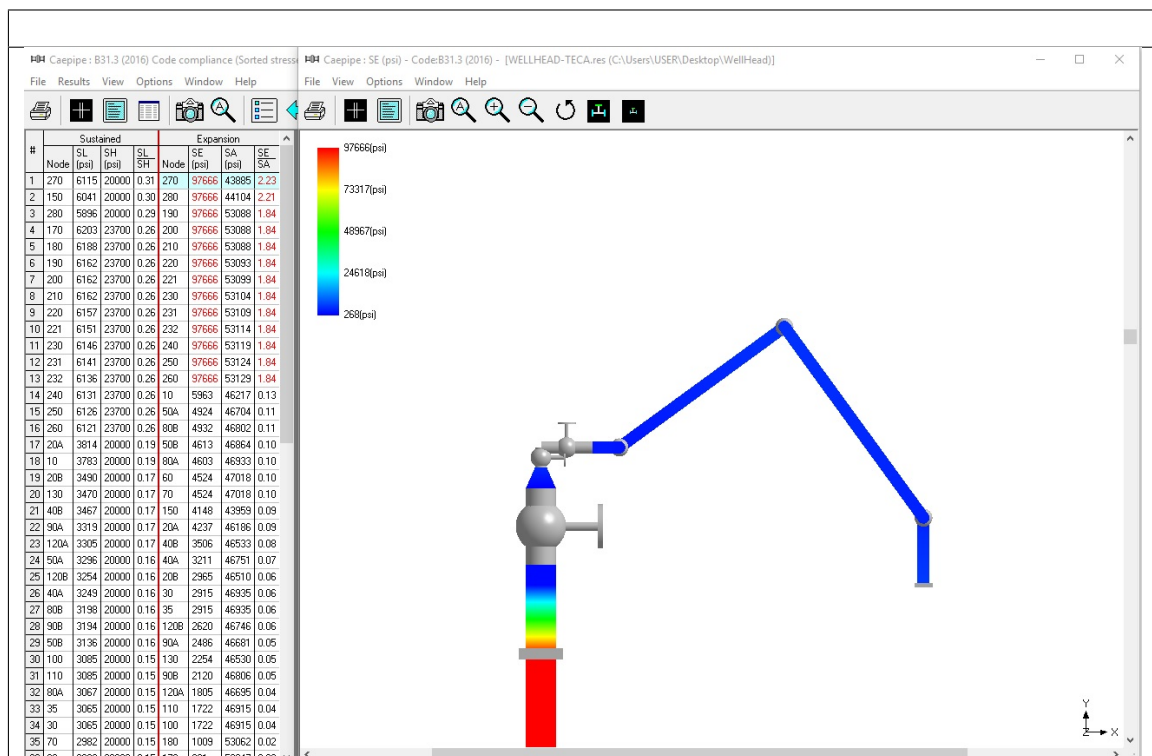


Table 5.14: Deformaciones con las 3 rótulas bloqueadas.



5.8 Esfuerzos con bloqueo en la salida del cabezal del pozo

Table 5.15: Esfuerzos máximos con bloqueo en la salida del casing de producción de 8 5/8”.



5.9 Aislamiento de cargas sobre la zona de la rotura

Con el propósito de estudiar esfuerzos locales de esfuerzos de contacto que no son modelados por el software de análisis de tuberías CAEPIPE, se realiza un modelo de elementos finitos de la zona afectada del casing. Para este modelo se usaron como datos de entrada, las cargas calculadas por el modelo de CAEPIPE para los elementos de tubería.

Table 5.16: Modelo para análisis de elementos finitos.

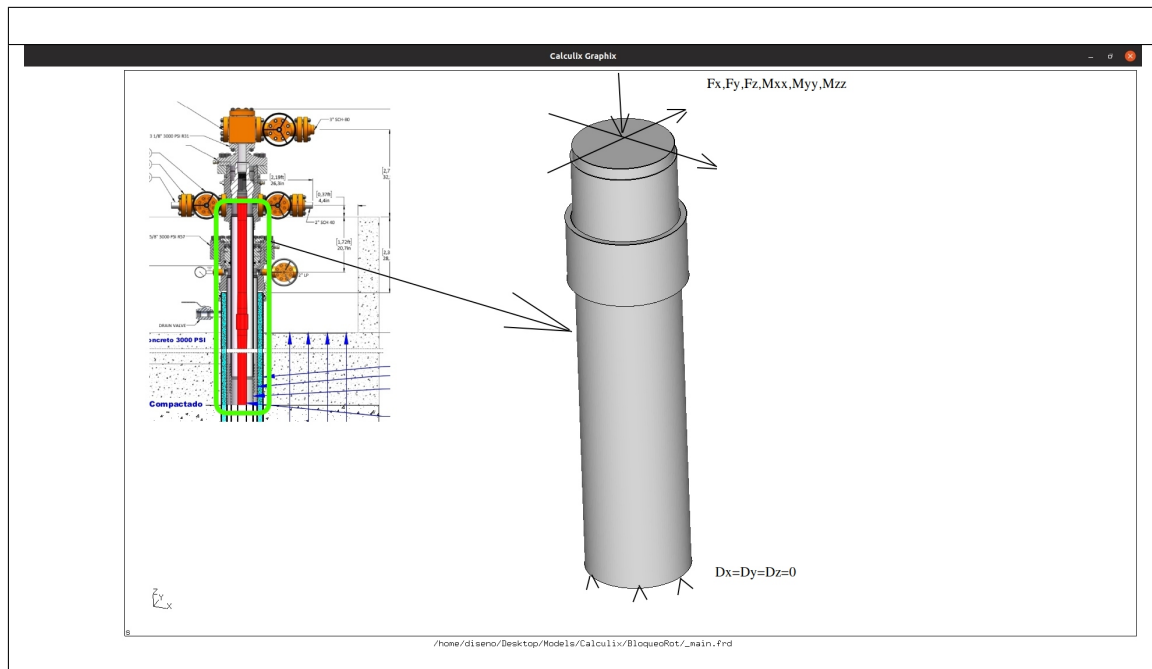


Table 5.17: Cargas sobre el casing de producción.

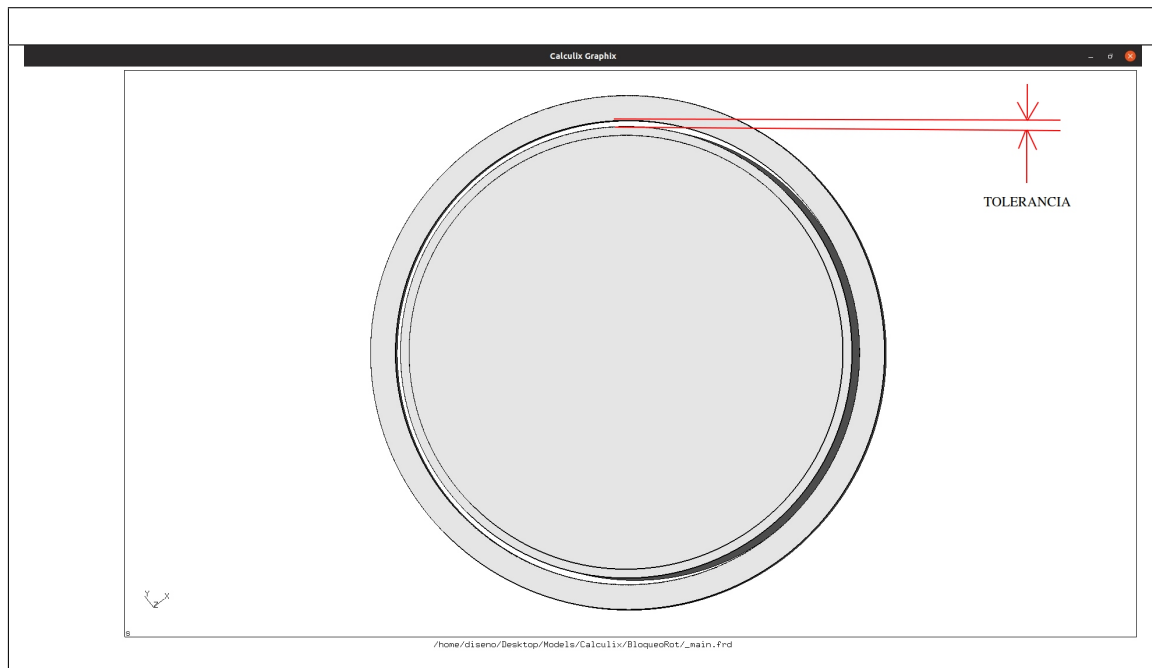
#	Node	Axial (lb)	y Shear (lb)	z Shear (lb)	Torsion (ft-lb)	Inplane (ft-lb)	Outplane (ft-lb)	Flex Factors
11	80B	-1908	4235	60	3978	1832	1124	
90A	-1936	4273	60	3978	-16084	1376	1376	
12	90A	-1936	4273	60	3978	1376	16084	1.13 3.09 3.09
90B	-60	1939	4278	60	17687	672	-2375	1.13 3.09 3.09
13	90B	-60	4600	953	17687	2314	-856	
100	-60	4604	953	17687	447	447	-469	
14	110	-60	4662	953	17687	447	-469	
120A	-60	4667	953	17687	-1446	-1446	-82	
15	120A	-60	953	17687	82	1.36 -1446	1.13 3.09 3.09	
120B	953	60	-4673	-3197	-298	1.36 -19439	1.13 3.09 3.09	
16	120B	953	4673	60	-3197	-19439	298	
130	953	4677	60	-3197	-20753	315	-315	
17	150	4737	953	60	-389	-27088	1.00 -3168	1.00 1.00
160	4752	953	60	-389	-27557	1.00 -3138	-3138	
18	170	4913	953	60	-389	-29337	-3026	
180	4913	953	60	-389	-29809	-29809	-2997	
19	180	-27288	953	60	-389	-29809	-2997	
190	-27290	953	60	-389	-31398	-31398	-2897	
20	190	-27749	-3641	67	-389	-31398	-2897	
200	-27754	-3641	67	-389	-9309	-9309	-2489	
21	200	-27754	-3641	67	-389	-3336	-2378	
22	210	-28109	-104	67	-389	-3336	-2378	
220	-28133	-104	67	-389	90	-170	-170	
23	220	-28145	0	4	-389	90	-170	
221	-28170	0	4	-389	77	-27	-27	
24	221	-28170	0	0	-389	77	-27	
230	-28194	0	0	-389	64	-19	-19	
25	230	-28194	0	0	-389	64	-19	
231	-28219	0	0	-389	51	-11	-11	
26	231	-28219	0	0	-389	51	-11	
232	-28243	0	0	-389	38	-3	-3	
27	232	-28243	0	0	-389	38	-3	
240	-28268	0	0	-389	25	5	5	
28	240	-28268	0	0	-389	25	5	
250	-28292	0	0	-389	12	13	13	
29	250	-28292	0	0	-389	-1	21	
260	-28317	0	0	-389	-1	21	21	
30	260	-28317	0	0	-389	-14	29	
270	-28341	0	0	-389	-14	29	29	
31	270	-28341	0	0	-389	-14	29	
300	-28366	0	0	-389	-14	29	29	

5.10 Modelo de elementos finitos

Se modeló la zona correspondiente al Casing de producción permitiendo una longitud libre desde su afloramiento hasta la parte superior del cabezal (Válvulas). Para simular posible concentraciones de esfuerzos se incluyó en el modelo el contacto con las piezas, anillos inferior y superior sobre la que puede deslizarse y conectarse contacto con el casing respectivamente.

En este análisis se consideró el efecto de la tolerancia entre el casing y el anillo inferior (piezas 13 5/8" 3000 PSI R57 e internas). Al no disponer de esta información se modelaron casos extremos.

Table 5.18: Tolerancia entre Casing y anillo 13 5/8" 3000 PSI R57



Se simuló con elementos finitos diferentes condiciones de carga (Figura Cargas sobre el casing de producción) según se resume en la siguiente tabla. Los casos I y II son calculados con las condiciones derivadas de los modelos de CAEPIPE para dos tolerancias distintas, el caso III es un experimento variante del II adicionando una presión de dos veces la de trabajo y el caso IV es un experimento con una sobrepresión como la que podría generar un golpe de ariete (Asumiendo 10 veces la presión de trabajo).

Table 5.19: Simulaciones FEA.

Caso	Tolerancia [mm]	Esfuerzo Casing [psi]	Caso de carga	Observaciones
I	2	75.274	Presión interna 6092 psi	Se encuentra el mismo patrón de esfuerzos que pudo haber generado la rotura en el CASING. El sitio de mayores esfuerzos coincide con el que se encontró en la rotura. La carga de rotura para este caso estaría por encima de 6.000 psi dependiendo del comportamiento plástico no analizado en este trabajo.
II	6.4	35.389	Bloqueo rótulas + Presión interna 1000psi + Contacto con anillo + Temperatura interna 546 F	Se presenta contacto con las cargas producidas por el bloqueo de las rótulas. Los esfuerzos están por debajo de los admisibles.
III	2.03	74.839	Bloqueo rótulas + Presión interna 1000psi + Contacto con anillo + Temperatura interna 546 F	Se presenta contacto con las cargas producidas por el bloqueo de las rótulas. Los esfuerzos están por encima de los admisibles concentrados en un semi- círculo en la zona de contacto el interior del casing
IV	6.4	58.015	Bloqueo rótulas + Presión interna 2000psi + Contacto con anillo + Temperatura interna 546 F	Los esfuerzos en el Casing superan la cedencia. El patrón de falla sería de deformación plástica no simétrica iniciada en la zona de contacto.
V	6.4		Presión interna 10.000 psi + contacto con anillo	Se presenta un patrón de esfuerzos internos constante excepto en una zona anular correspondiente a la zona de contacto con el anillo.

5.10.1 Simulación FEA caso I

En este modelo se incluyen la pieza superior en la que va roscado el casing, la zona de superficie del CASING y la pieza inferior en la que puede deslizarse el CASING.

Se aplicó una carga equivalente a una presión de 6092 psi. Los esfuerzos generados por esta carga sobre la unión del CASING con la pieza superior del cabezal son del 94% del valor de fluencia del material

del CASING. Se concluye entonces que con una carga mayor se generaría rotura. Tambien se encontró que los mayores esfuerzos ocurren sobre un anillo en toda la sección del CASING.

Este caso se considera de la mayor relevancia en este informe porque es el que mayor semejanza presenta respecto al daño ocurrido.

En las siguientes gráficas se observan los niveles y patrones de esfuerzos ocurridos con la presión antes mencionada.

Table 5.20: Esfuerzos en el casing a 600psi vista exterior.

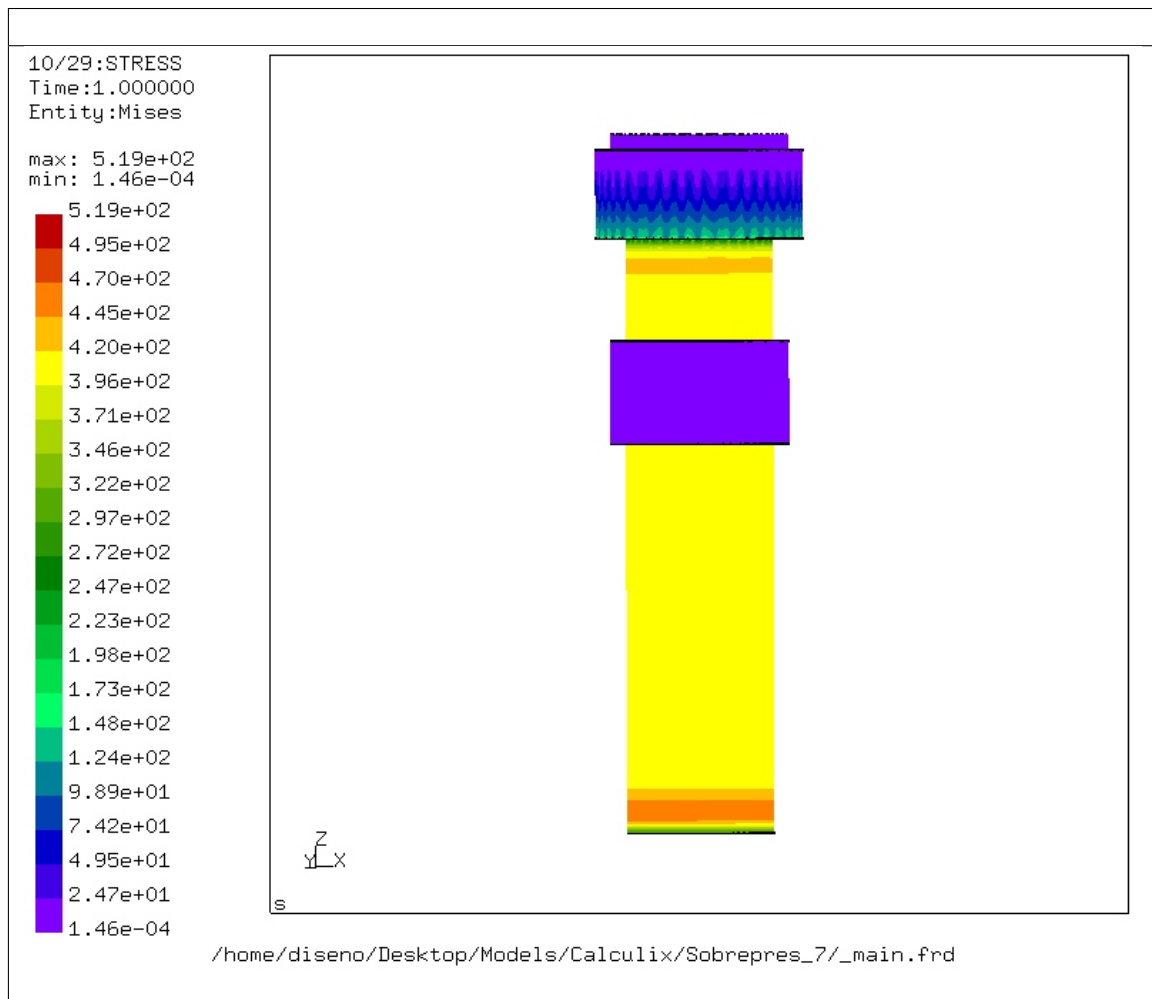


Table 5.21: Esfuerzos en el casing a 600psi vista interna.

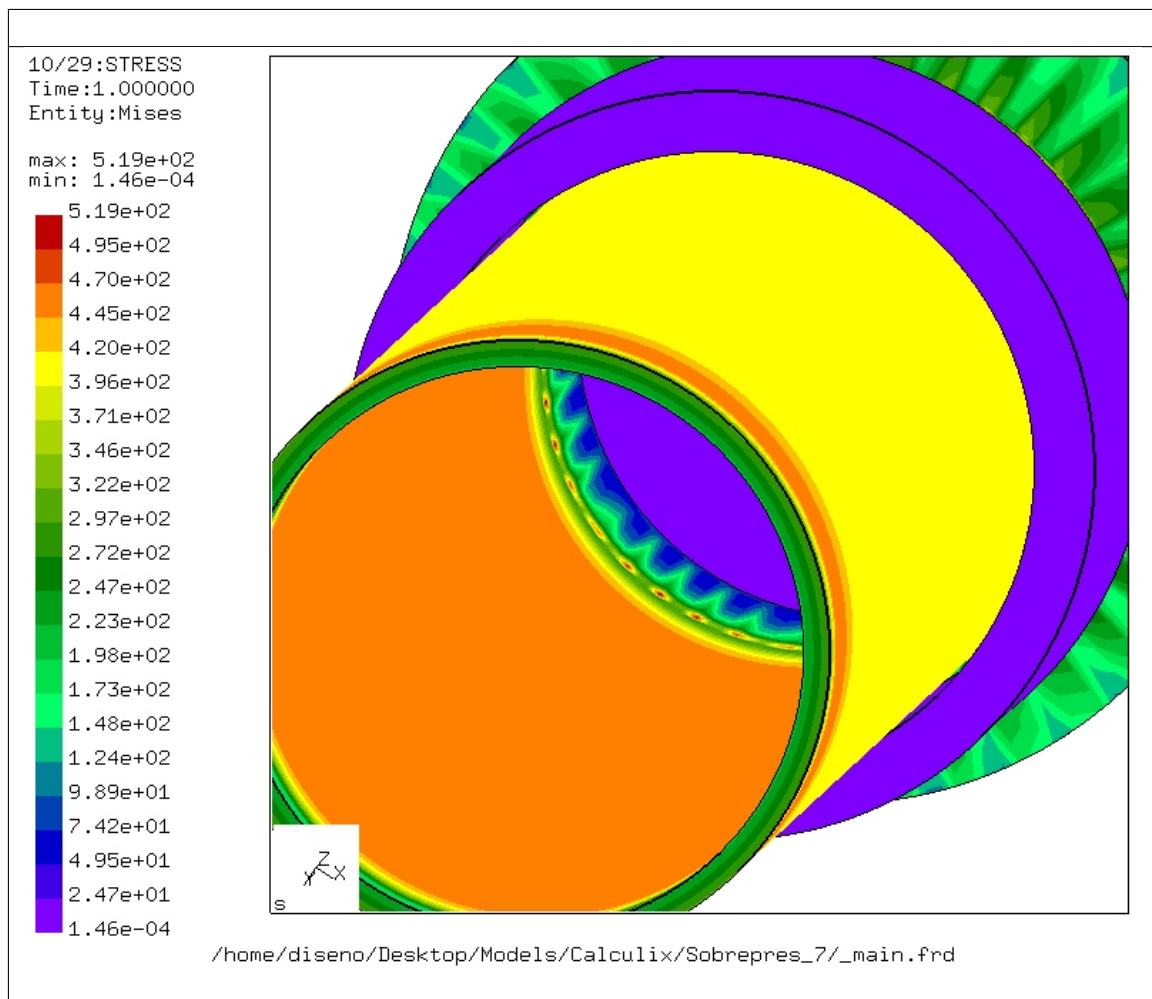
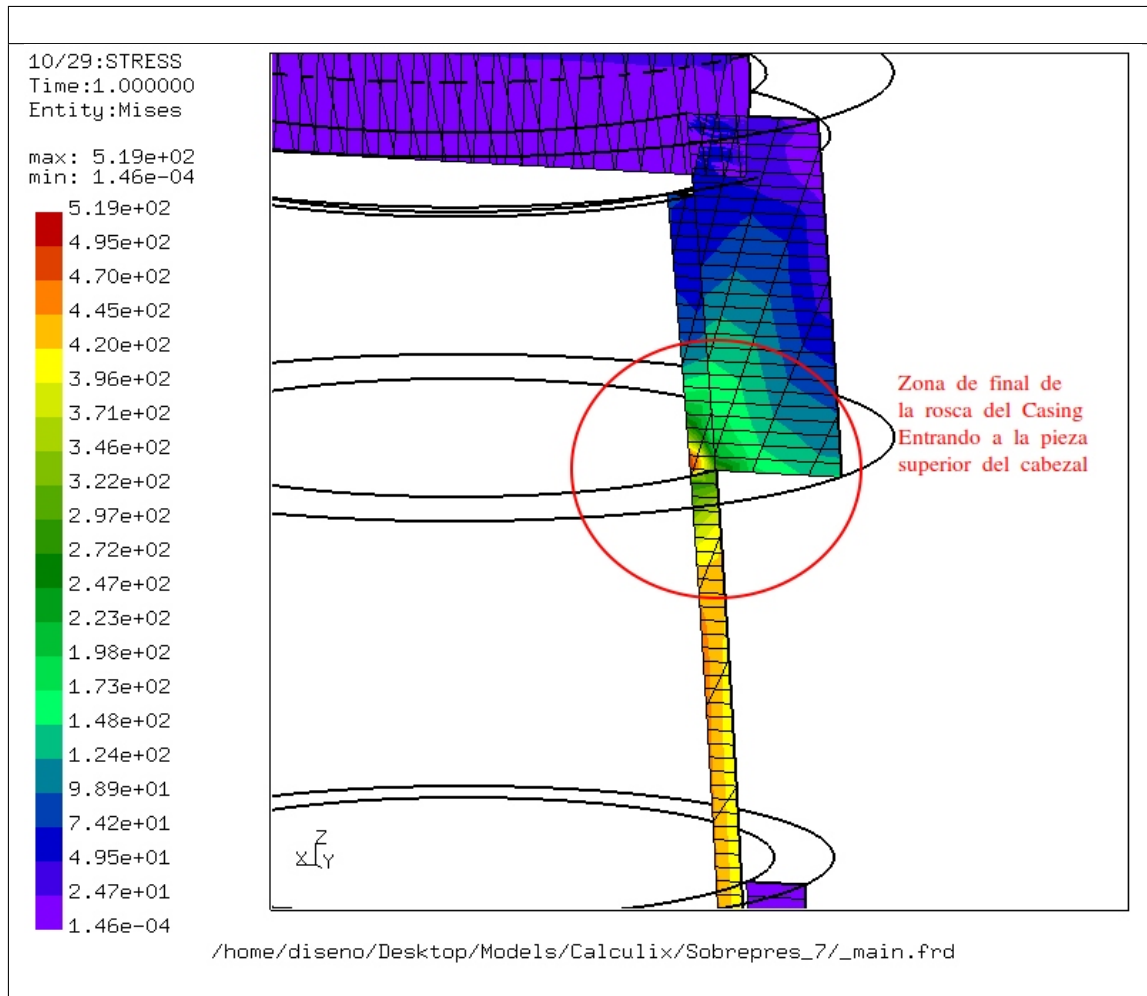


Table 5.22: Esfuerzos en el casing a 600psi vista de corte.



5.10.2 Simulación FEA caso II

En esta simulación las cargas son importadas del modelo de flexibilidad de tuberías de CAEPIPE y se aplican al casing. El anillo permanece estático, el tubo del CASING presenta deformaciones por las fuerzas y momentos aplicados, expansiones por la temperatura y la presión interna. Estas deformaciones provocan el contacto del CASING con una zona del anillo e incrementan los esfuerzos sobre este. A pesar de generarse un incremento local de los esfuerzos, estos no superan la resistencia a la fluencia del material de 80.000 psi.

En este caso y en los casos III y IV es importante tener en cuenta que las fuerzas son conservadoras debido a que se asumen del modelo de esfuerzos de CAEPIPE en la condición en la que las rótulas están bloqueadas. Si se observa el modelo correspondiente, antes de que se pudieran generar estas fuerzas la tubería de alimentación de 3" hubieran presentado deformación plástica y/o rotura que habría aliviado la carga sobre el CASING.

En las gráficas siguientes se muestran las deformaciones ocurridas en el conjunto CASING anillo para esta condición de carga.

Table 5.23: Deformación con cargas de bloqueo de rótulas y tolerancia de 6.4mm

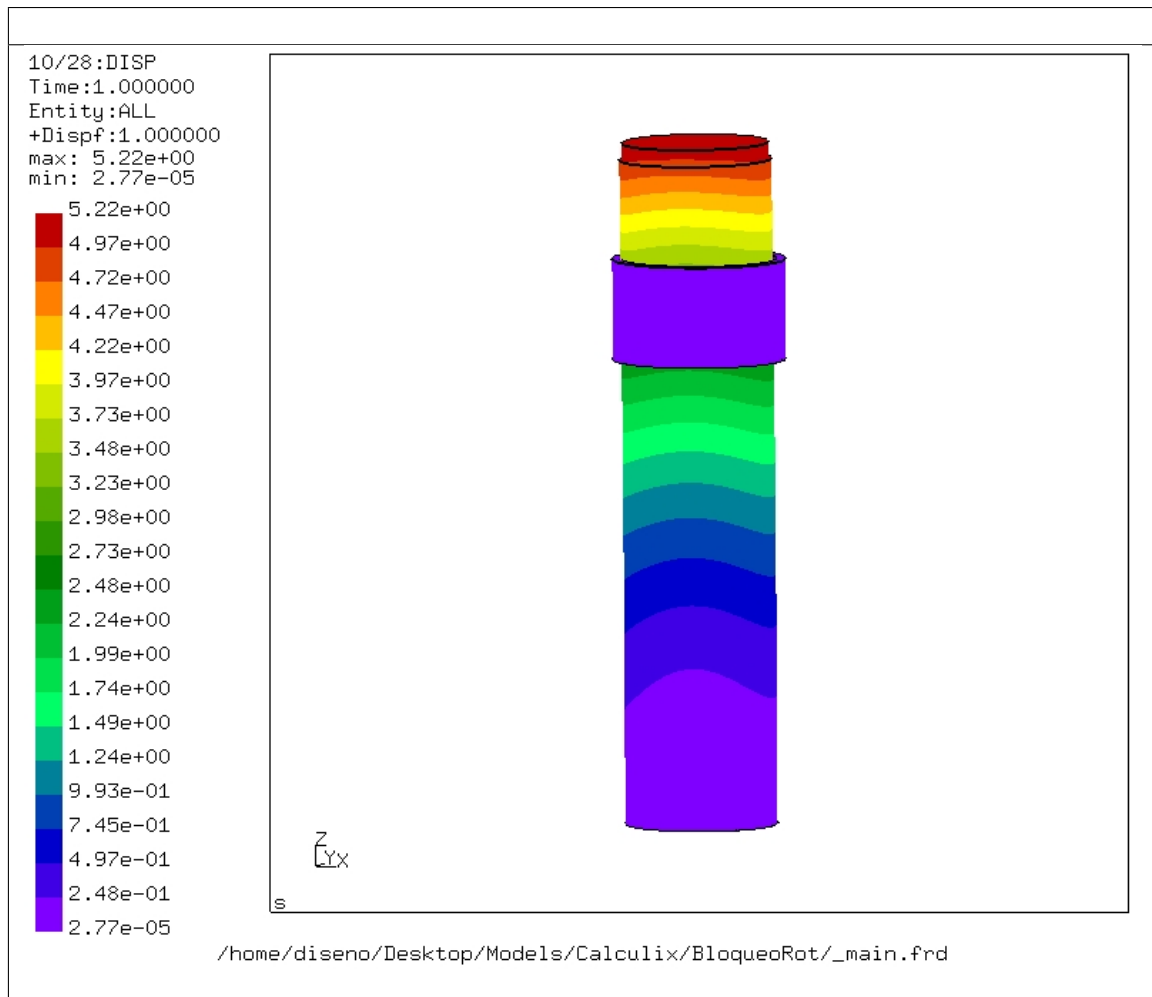
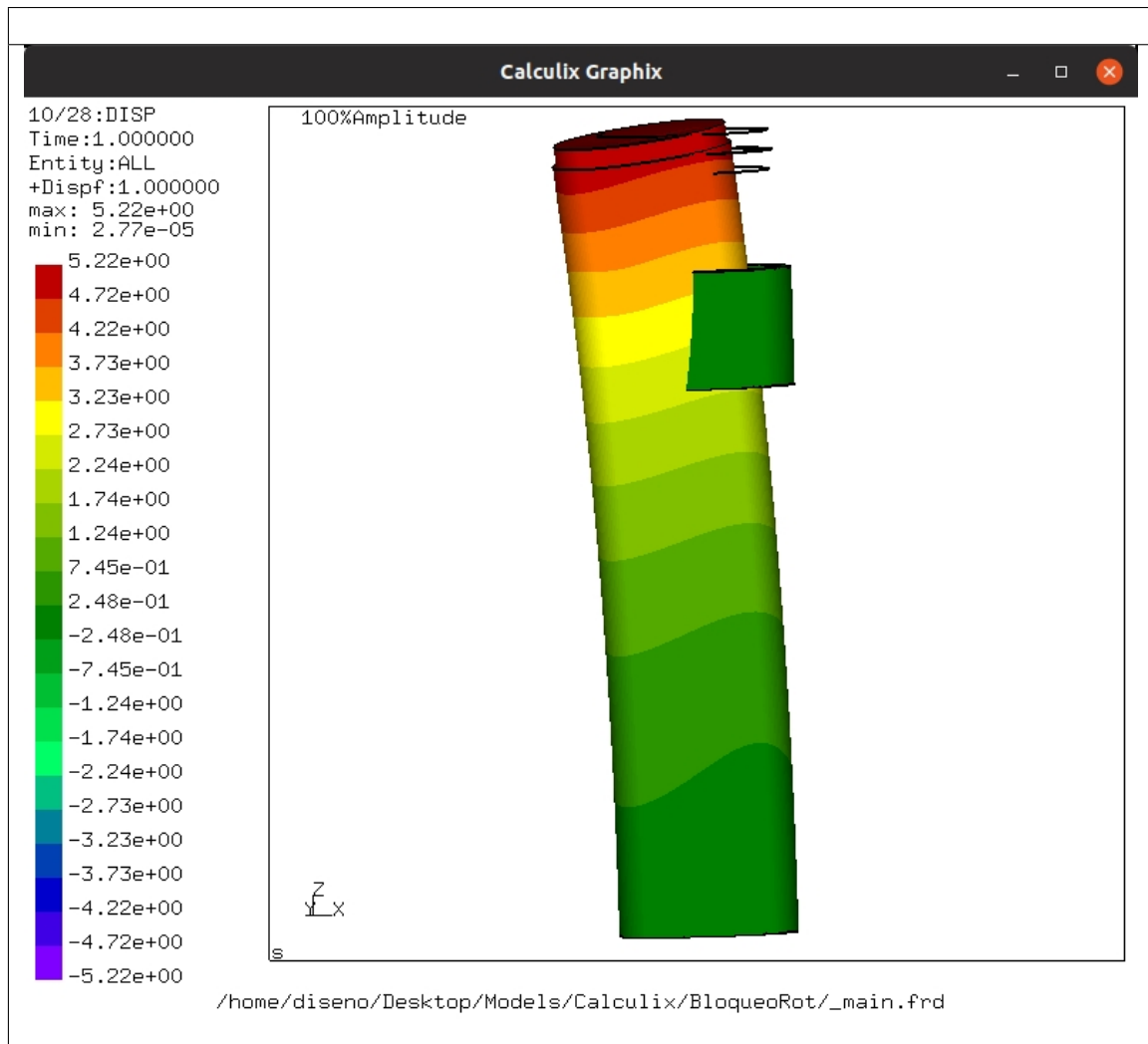
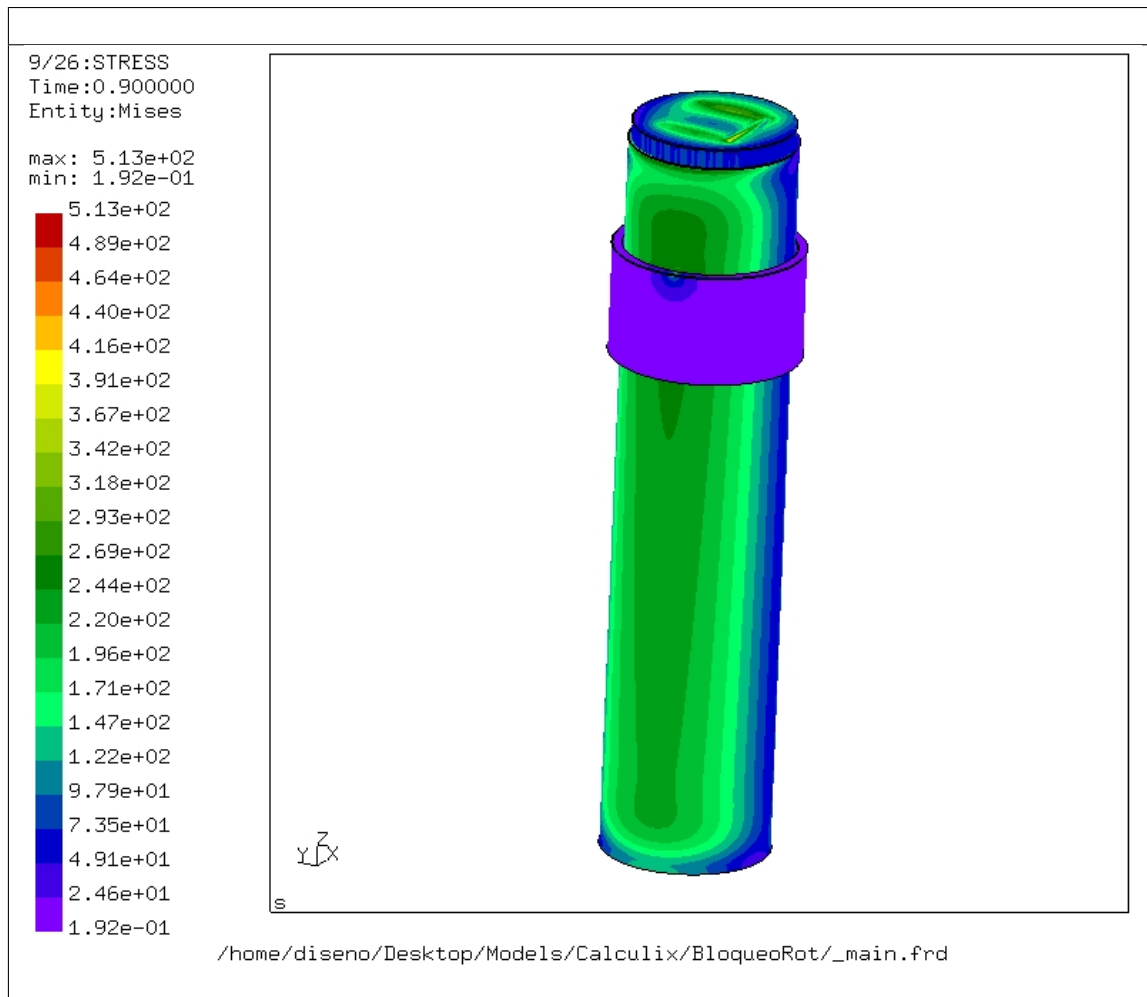


Table 5.24: Deformación con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 6.4mm - deformaciones escaladas.



La siguiente grafica presenta los esfuerzos en el casing para el caso II de carga.

Table 5.25: Esfuerzo de Von Mises [MPa] con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 6.4mm.



5.10.3 Simulación FEA caso III

En esta simulación las cargas son importadas del modelo de flexibilidad de tuberías de CAEPIPE y se aplican al casing. El anillo permanece estático, el tubo del CASING presenta deformaciones por las fuerzas y momentos aplicados, expansiones por la temperatura y la presión interna. Estas deformaciones provocan el contacto del CASING con una zona del anillo e incrementan los esfuerzos sobre este. A diferencia del caso I la tolerancia entre el CASING y el anillo es mucho mas estrecha, lo que genera esfuerzos mayores en la zona de contacto 74.839psi. En esta condición “conservadora” (ver numeral anterior), se superarían los esfuerzos de cedencia del CASING. Sin embargo, el patron de deformaciones ocurre en una zona semicircular en el lugar de contacto y no a una zona anular como la de la falla que se presentó en campo.

En este caso se concluye que al reducir la tolerancia entre el CASING y el anillo el efecto de los esfuerzos de contacto producen un incremento en los esfuerzos sobre el CASING.

En las gráficas siguientes se muestran las deformaciones ocurridas en el conjunto CASING anillo para esta condición de carga.

Table 5.26: Deformación con cargas de bloqueo de rótulas y tolerancia de 2.03mm

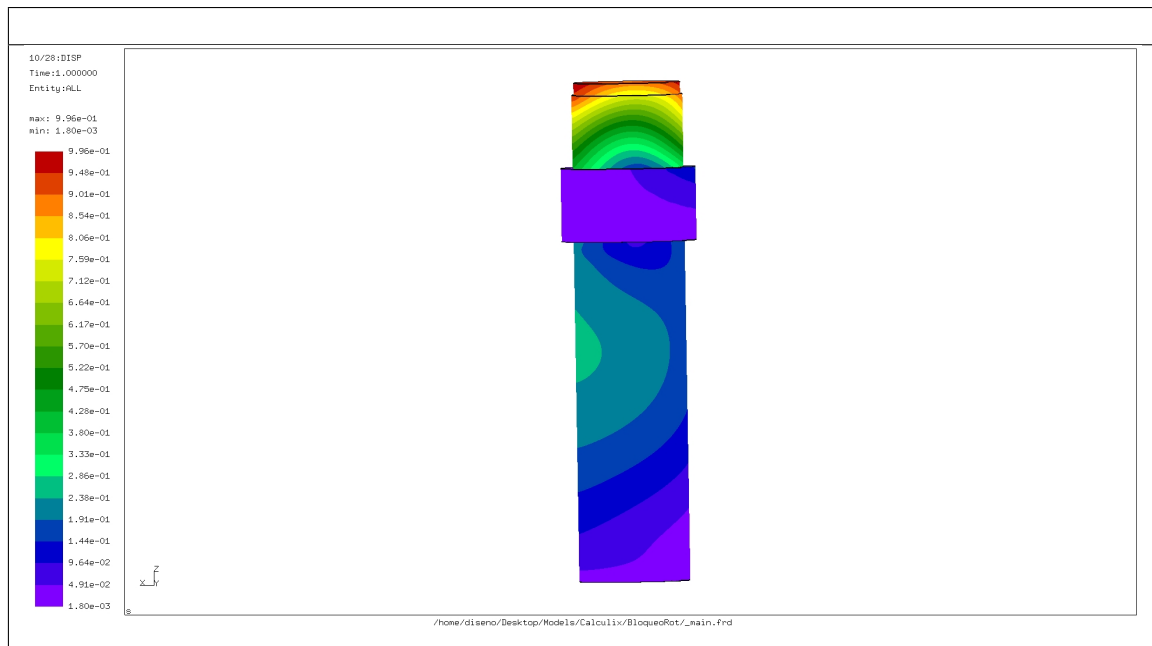
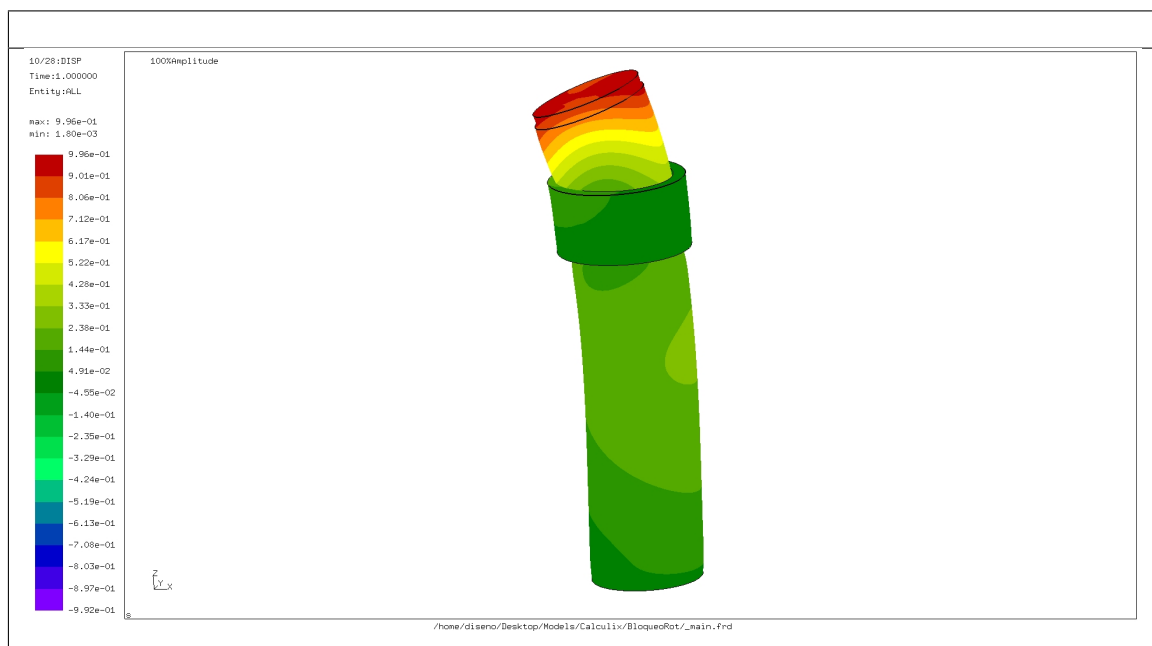


Table 5.27: Deformación con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 2.03mm - deformaciones escaladas.



Las siguientes graficas presentan los esfuerzos en el casing para el caso II de carga.

Table 5.28: Esfuerzo de Von Mises [MPa] con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 2.03mm - Zona anular de mayor esfuerzo.

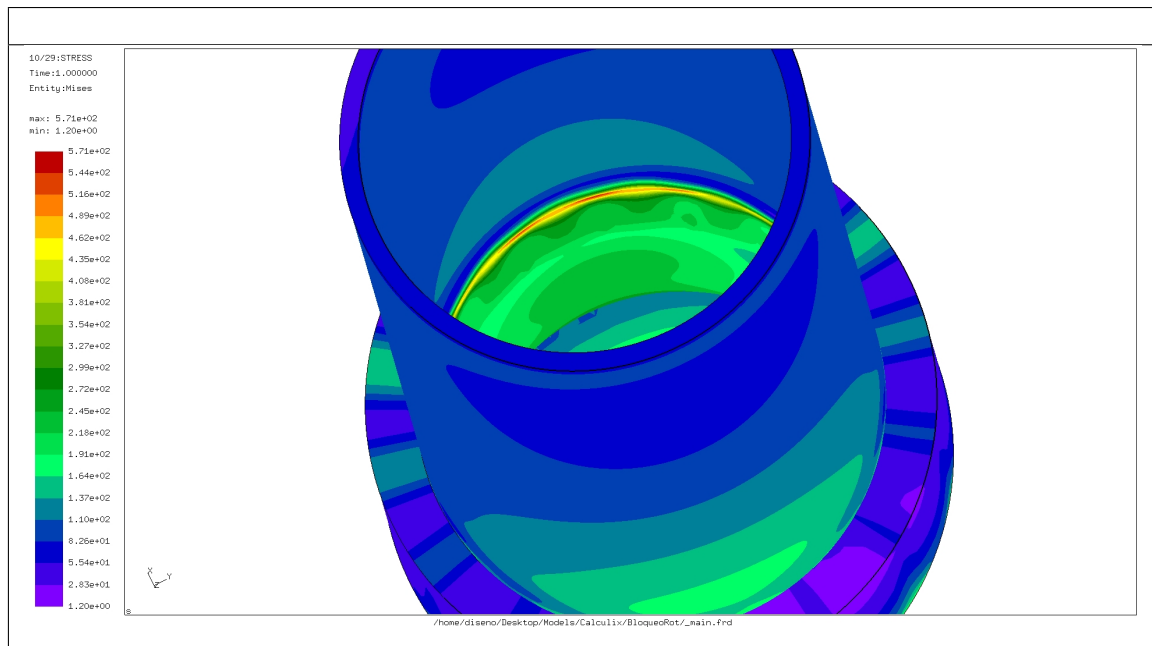


Table 5.29: Esfuerzo de Von Mises [MPa] con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 2.03mm - Zona al otro lado de la zona anular.

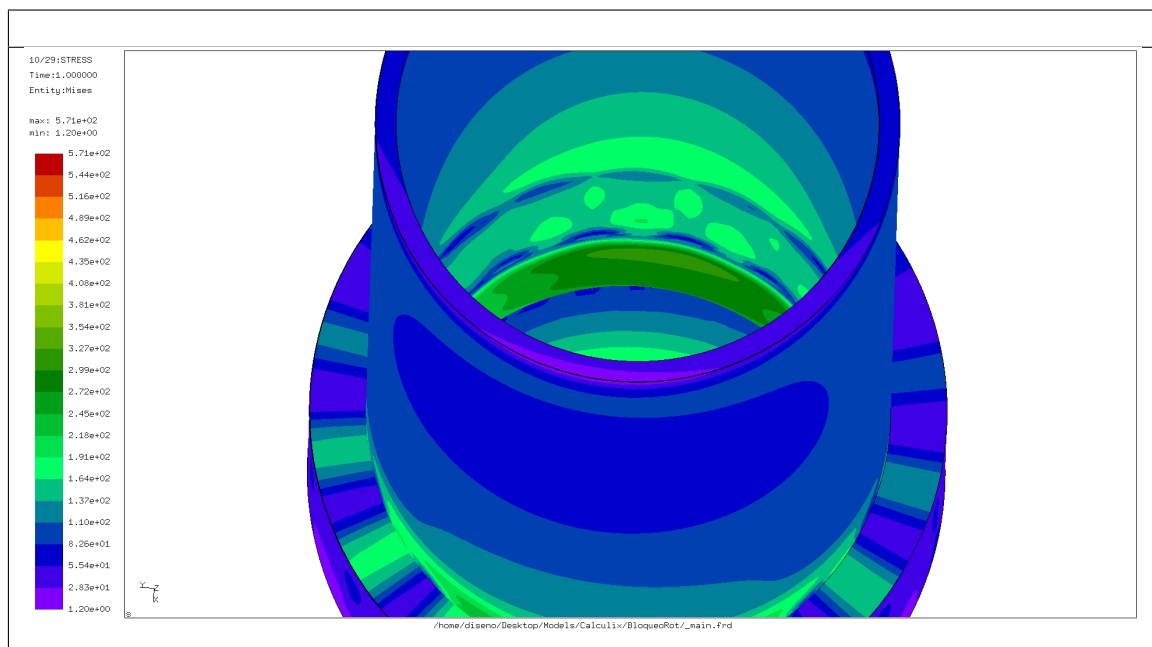
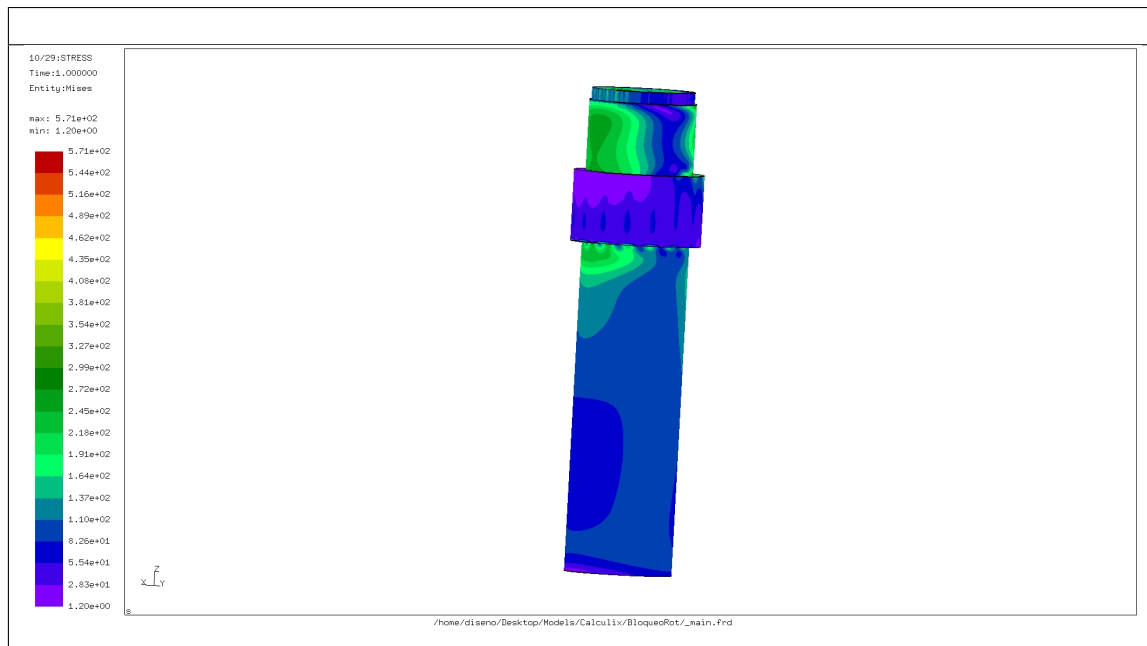


Table 5.30: Esfuerzo de Von Mises [MPa] con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 2.03mm - Zona exterior CASING.



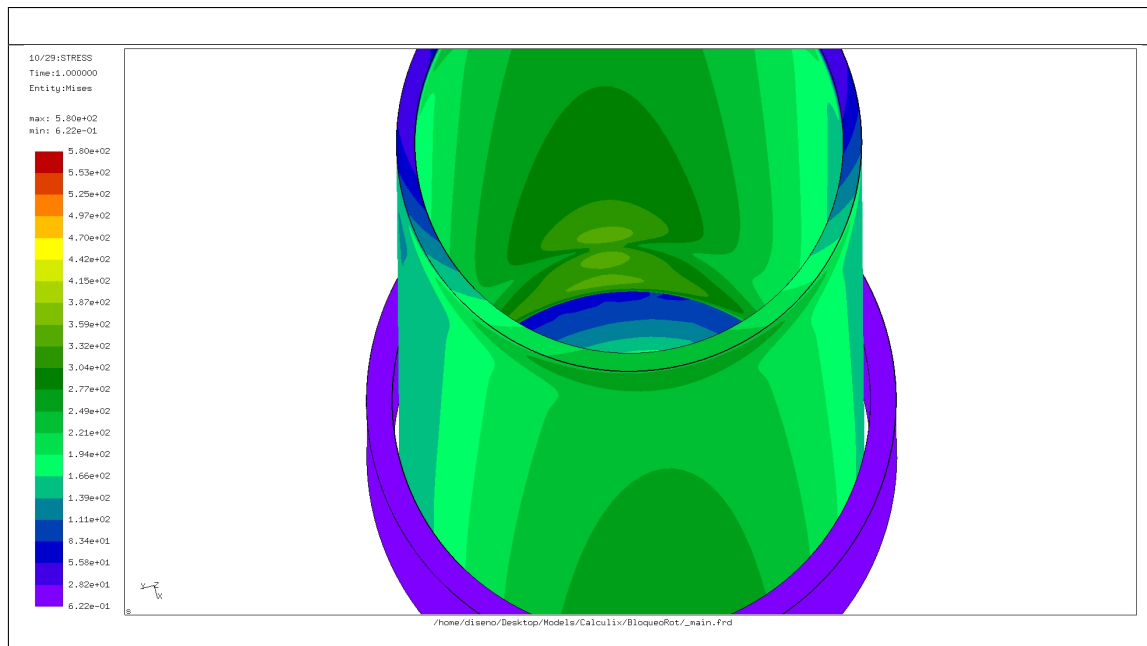
5.10.4 Simulación FEA caso IV

En esta simulación las cargas son importadas del modelo de flexibilidad de tuberías de CAEPIPE y se aplican al casing. El anillo permanece estático, el tubo del CASING presenta deformaciones por las fuerzas y momentos aplicados, expansiones por la temperatura y presión interna de 2.000psi (El doble de las de trabajo). Estas deformaciones provocan el contacto del CASING con una zona del anillo e incrementan los esfuerzos sobre este hasta 58.015psi.

Los mayores esfuerzos se presentan en una zona puntual en el sitio de contacto, en este caso el patron de daño sería muy distinto al anular que se presentó en campo.

En la gráfica siguiente se muestran los esfuerzos ocurridos en el conjunto CASING anillo para esta condición de carga.

Table 5.31: Esfuerzo de Von Mises [MPa] con cargas de bloqueo de rótulas, tolerancia de 6.4mm - P=2.000 psi.



5.10.5 Simulación FEA caso V

Se simuló el efecto de una sobrepresión suficiente para poner en contacto metal - metal el casing de 8 5/8" y la pieza anular dentro de la que puede este puede deslizar desde su afloramiento. Se simuló una presión interna de 10.000 psi para verificar el patrón de esfuerzos provocado por este tipo de carga.

El esfuerzo máximo ocurre en una sección anular en el interior del CASING con un valor cercano a 2 veces el producido por la presión interna en el resto del tubo.

A pesar de que este análisis se realizó esencialmente de manera descriptiva, el patrón de esfuerzos máximos corresponde con el tipo de rotura ocurrido en campo.

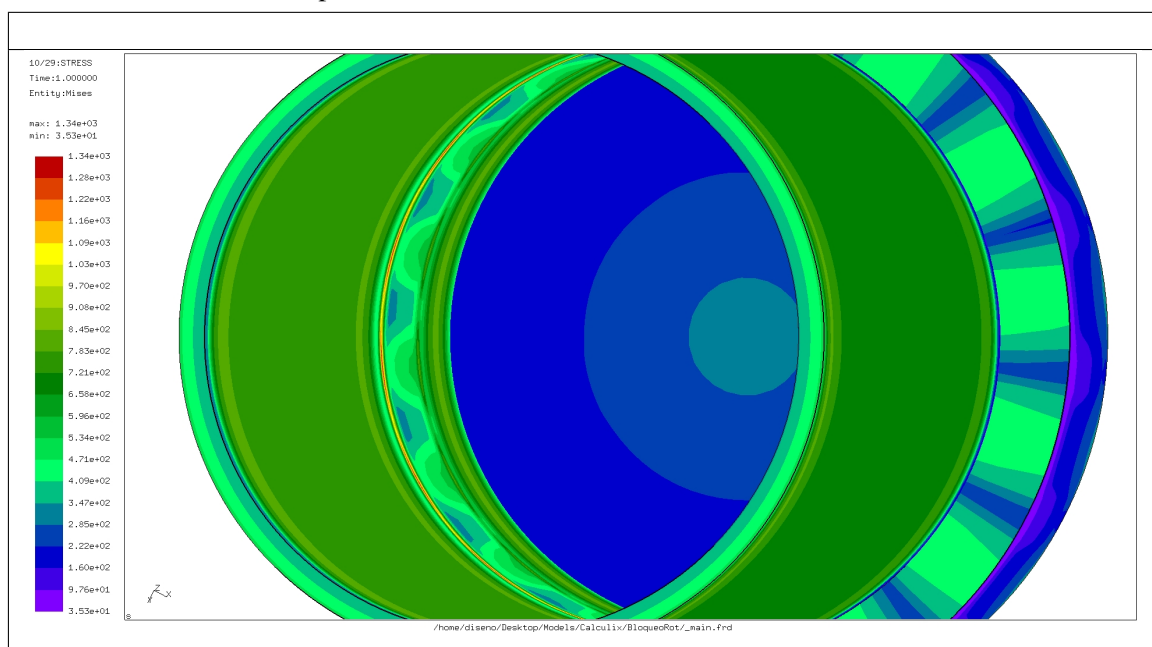
En la gráfica siguiente se muestran las deformaciones ocurridas en el conjunto CASING anillo para esta condición de carga.

Table 5.32: Deformación con carga de presión de 10.000psi



En la gráfica siguiente se muestran los esfuerzos ocurridos en el conjunto CASING anillo para esta condición de carga.

Table 5.33: Esfuerzo de Von Mises [MPa], tolerancia de 6.4mm - P=10.000 psi.



5.11 Análisis de tipos de carga

De los resultados anteriores se puede verificar que existen varios tipos de carga que pueden ocasionar esfuerzos superiores al admisible para fluencia del CASING según se describe a continuación.

5.11.1 Cargas de presión

Las cargas de presión, tales como golpes de ariete, explosión u otras que puedan producir un choque instantáneo generan un patrón de esfuerzos en la tubería que sería coincidente con el del daño ocurrido.

5.11.2 Fuerzas, momentos y cargas térmicas

Las fuerzas, momentos y cargas térmicas estudiados podrían generar esfuerzos superiores sobre el CASING en la zona de contacto con el anillo, especialmente correlacionados con la tolerancia geométrica entre las dos piezas. Sin embargo estas cargas tenderán a producir esfuerzos no simétricos sobre el CASING (Máximos a un costado del tubo) que tendería a doblarlo.

5.11.3 Reacción hidráulica

La reacción hidráulica corresponde a la fuerza vertical ascendente que se produce por la descarga del vapor en la punta del tubing. Está sólo ocurrirá si el vapor se descarga verticalmente hacia abajo y no en el caso de descargas laterales, en cuyo caso las fuerzas verticales por este efecto se anulan.

$$Reaccion = 2PA = 62606\text{Newton} = 12777\text{lb}f$$

$$P = 1.000\text{psi} = 6.895 * 10^6\text{Pa}$$

$$A = Pi() * 0.076\text{m}^2/4 = 4.54 * 10^{-3}$$

Este valor aunque importante es apenas cerca de la mitad del peso total de los 2400ft del tubing de 3 1/2" EU #9.3 N80. Por lo tanto, en caso de existir sólo tendería a disminuir la carga producida por el peso del tubing sobre el CASING reduciendo los esfuerzos de compresión.

No se espera entonces que esta carga pudiera generar el daño que se evidenció en campo.

El análisis realizado presenta los siguientes límites:

- Los modelos se construyeron para el rango elástico de los materiales involucrados.
- Los efectos térmicos se simulan de manera estática, no se dispone de información para el análisis de efectos transientes.
- No se dispone de la información de la geometría detallada ni el gap entre el casing y el anillo donde este puede deslizarse.
- Se modelan los materiales como nuevos. No se consideran daños previos en la zona de rotura, tales como corrosión, erosión u otros.

CHAPTER 7

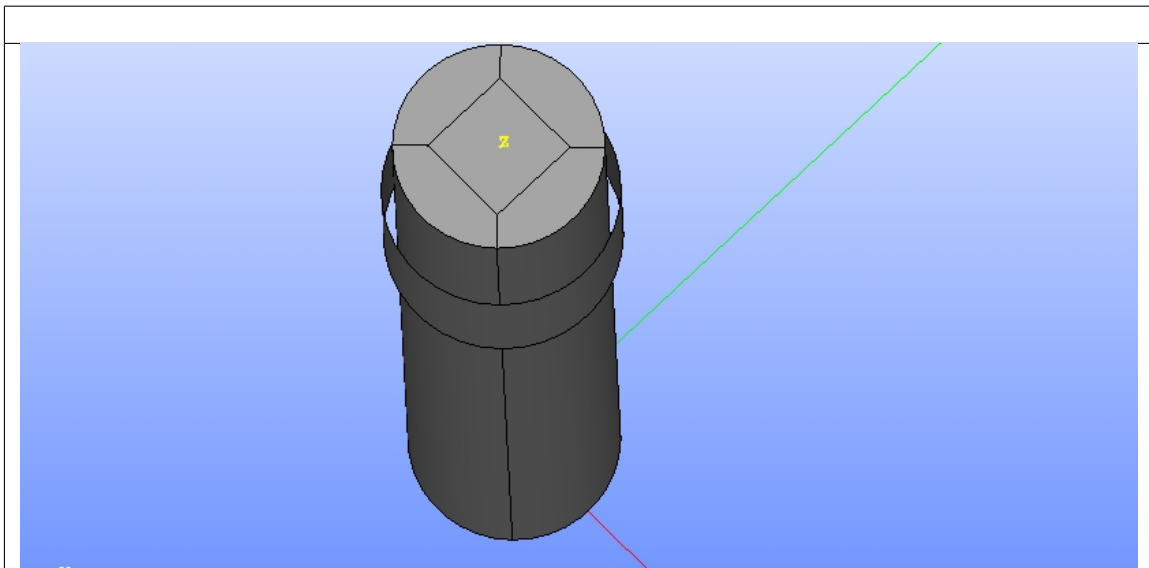
SOFTWARE

Se utilizaron los siguientes programas para las simulaciones.

- Análisis de esfuerzos en tuberías CAEPIPE
- Análisis de elementos finitos CALCULIX CCX2.13-Stable.

La geometría tipo Shell fue construida en el programa SALOME.

Table 8.1: Esfuerzo de Von Mises [MPa], tolerancia de 6.4mm -
P=10.000 psi.Modelo Geométrico.



CHAPTER 9

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

Se construyó en el programa SALOME V9.3.0 la malla de elementos finitos que se presenta a continuación.

Table 9.1: Malla de elementos finitos.

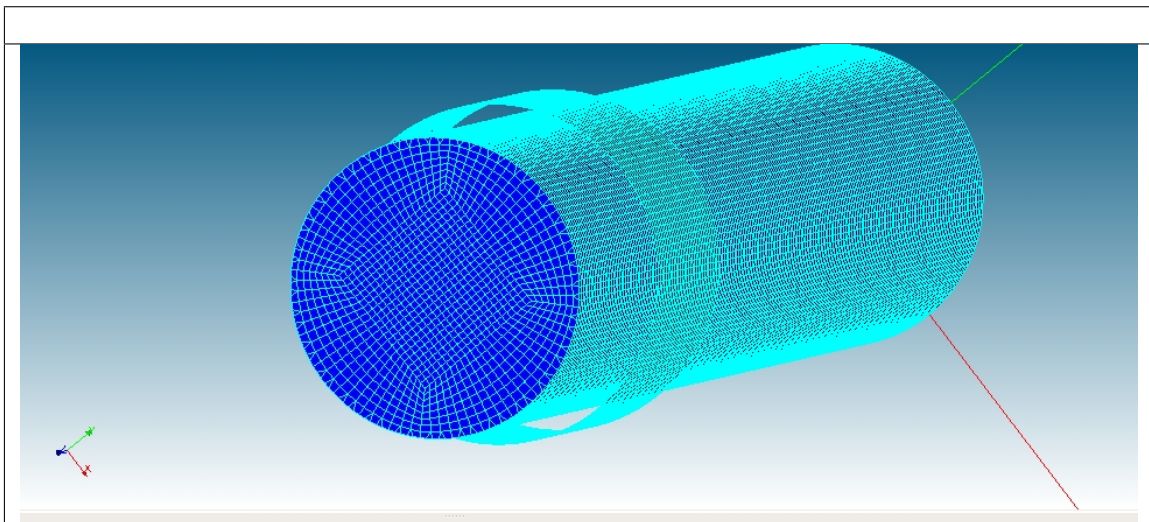


Table 9.2: Número de elementos finitos tipo Shell.

Mesh Information
✕

Base Info
Element Info
Additional Info
Quality Info

Name:

Object:

Nodes:

Elements:	Total	Linear	Quadratic	Bi-Quadratic
	<input style="width: 100%;" type="text" value="33849"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="33849"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>

0D:

Balls:

1D (edges):	Total	Linear	Quadratic	Bi-Quadratic
	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	

2D (faces):	Total	Linear	Quadratic	Bi-Quadratic
	<input style="width: 100%;" type="text" value="33849"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="33849"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Triangles:	<input style="width: 100%;" type="text" value="56"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="56"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Quadrangles:	<input style="width: 100%;" type="text" value="33793"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="33793"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Polygons:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	

3D (volumes):	Total	Linear	Quadratic	Bi-Quadratic
	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Tetrahedrons:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	
Hexahedrons:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Pyramids:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	
Prisms:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>
Hexagonal Prisms:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>			
Polyhedrons:	<input style="width: 100%;" type="text" value="0"/>			

Ok
Dump
Help